

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Vláknové optické deliče vo viditeľnom spektre**

**Fiber Splitters in Visible Spectrum**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Daubner**  
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika  
Téma: **Vláknově optické děliče ve viditelném spektru**  
**Fiber Splitters in Visible Spectrum**

Zásady pro vypracování:

1. Podrobně prostudujte princip činnosti, vlastnosti a parametry vláknových optických děličů.
2. Proměřte a vypočítejte parametry vláknových optických děličů zadaných vedoucím práce.
3. V programu Optiwave simulujte parametry optických děličů.
4. Porovnejte nasimulované parametry se změřenými parametry
5. Sestavte celkové zhodnocení použití vláknových optických děličů ve viditelném spektru.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1]KRAUSS, O. DWDM and Optical Networks; An introduction to Terabit Technology, Erlangen: Publicis Kommunikations Agentur, 2002. ISBN 3-89578-174-6  
[2]MUKHERJEE, B. Optical WDM Networks, Davis: Springer, 2006. ISBN 978-0387-29055-3  
[3]Katalogové listy výrobců

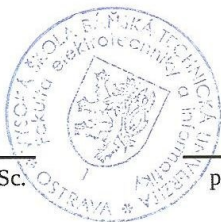
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Vitásek**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry




  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prehlásenie študenta**

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne parametre a publikácie, z ktorých som čerpal.

Dňa: 30.4.2013

  
.....  
podpis študenta

## **Pod'akovanie**

Rád by som poďakoval Ing. Jánovi Vitáskovi za odbornú pomoc a konzultácie pri tvorení tejto bakalárskej práce.

## **Abstrakt**

Cieľom bakalárskej práce je podrobne preštudovať princíp činnosti optických vláknových deličov vo viditeľnom spektre. Práca opisuje ich druhy, princíp činnosti a parametre. Po oboznámení s všeobecnými vlastnosťami predstavuje deliče, ktoré boli súčasťou zadania a poskytuje o nich informácie získané od výrobcu. Vzhľadom na predošlé informácie podrobne opisuje testovanie deličov reálnym meraním v reálnom prostredí. Ďalej predvádza simuláciu, ktorá má verne napodobiť správanie deličov v reálnom prostredí. Záverom práce je zhodnotenie využitia zadaných deličov.

## **Kľúčové slová**

Delič, Matlab, Optický prenos, Optisystem, Svetelné spektrum, Svetelný výkon, Útlm svetla

## **Abstract**

The goal of bachelor thesis is to study in detail the principles of operation of optical fiber splitters in visible spectrum. This work describes the types, operating principles and parameters. After familiarization with common characteristics, splitters, which were a part of the assignment, are being introduced, offering basic pieces of information from the manufacturer. Regarding the prior information these splitters were tested by real measurement in real conditions in detail. Furthermore, simulation closely resembling the behavior of splitters in real conditions is performed. In the conclusion, there is assessment of exploitation of assignment splitters.

## **Key words**

Light attenuation, Light power, Light spectrum, Matlab, Optical transmission, Optisystem, Splitter

## Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
<b>A</b>	dB	Útlm
<b>P</b>	W	Výkon
<b>r</b>	dB	Odrazivosť
<b>T</b>	%	Relatívny optický prenos
<b>X</b>	-	Skutočná hodnota
<b>x</b>	-	Nameraná hodnota
$\bar{\delta}$	-	Stredná kvadratická chyba
$\Delta i$	-	Odchýlka strednej a nameranej hodnoty
$\bar{\chi}$	-	Maximálna chyba
$\Delta X$	-	Chyba nepriameho merania

## Zoznam použitých skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
<b>PON</b>	Passive Optical Network	Pasivná optická sieť
<b>CATV</b>	Cable Television	Káblová televízia
<b>LAN</b>	Local Area Network	Lokálna sieť
<b>FTTx</b>	Fiber To The x	Vlákno k x
<b>FBT</b>	Fused Biconical Taper	Zatavený biconický kužeľ
<b>PLC</b>	Planar Lightwave Circuit	Planárny svetelný okruh
<b>WDM</b>	Wavelength-divison multiplexing	Vlnový multiplex
<b>PDL</b>	Polarization Depend Loss	Polarizačne závislý útlm
<b>LTBR</b>	Long Time Bend Radius	Dlhodobý polomer ohybu
<b>STBR</b>	Short Time Bend Radius	Krátkodobý polomer ohybu
<b>VŠB</b>	Vysoká Škola Báňská	Vysoká škola Báňská
<b>Č.</b>	Number	Číslo
<b>Atd.</b>	And so on...	A tak ďalej...
<b>Pod.</b>	Familiar	Podobne
<b>PC</b>	Computer	Počítač
<b>v.</b>	Version	Verzia
<b>a.u.</b>	Arbitrary Unit	Bezrozmerná veličina



# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vláknové optické deliče vo viditeľnom spektre.....	2
2.1	Druhy vláknových optických deličov.....	2
2.1.1	FBT.....	2
2.1.2	PLC.....	3
2.2	Technické parametre .....	4
2.2.1	Prevádzkové pásmo .....	5
2.2.2	Technológia .....	5
2.2.3	Typ optického vlákna .....	5
2.2.4	Konektory .....	5
2.2.5	Útlm.....	5
2.2.6	Relatívny optický prenos .....	7
2.2.7	Rozmery .....	7
2.2.8	LTBR a STBR.....	7
2.2.9	Prevádzková teplota.....	7
2.3	Výroba .....	7
3	Zadané deliče.....	9
3.1	Ocean Optics BIF50-UV-VIS .....	10
3.2	Ocean Optics BIF50-VIS-NIR .....	11
4	Meranie výkonu.....	13
4.1	Schéma zapojenia.....	13
4.2	Použité zariadenia.....	13
4.3	Postup merania .....	13
4.4	Spracovanie výsledkov .....	14
4.4.1	Výpočet hodnôt .....	17
4.4.2	Chyby merania.....	18
4.5	Výsledky deliča Ocean Optics BIF50-UV-VIS.....	20

4.6	Výsledky deliča Ocean Optics BIF50-VIS-NIR .....	20
4.7	Zhodnotenie merania výkonu .....	21
5	Meranie Spektra .....	22
5.1	Schéma zapojenia .....	22
5.2	Použité zariadenia a software .....	22
5.3	Postup merania .....	23
5.4	Spektrum zdroja .....	23
5.5	Spektrum výstupov deliča Ocean Optics BIF50-UV-VIS.....	24
5.6	Spektrum výstupov deliča Ocean Optics BIF50-VIS-NIR.....	25
5.7	Zhodnotenie merania spektra .....	26
6	Simulácia parametrov .....	27
6.1	Simulácia útlmu pomocou základných komponentov .....	27
6.1.1	Výsledky simulácie deličov pomocou základných komponentov .....	28
6.2	Simulácia útlmu pomocou MATLAB komponentu .....	29
6.2.1	Výsledky simulácie deličov pomocou komponentu MATLAB .....	30
6.3	Zhodnotenie simulácií .....	30
7	Záver.....	31
	Použitá literatúra .....	33
	Zoznam použitých termínov .....	34
	Zoznam použitých obrázkov .....	35
	Zoznam použitých grafov.....	36
	Zoznam použitých vzorcov .....	37
	Zoznam príloh .....	38

---

# 1 Úvod

Bakalárska práca spracováva problematiku vláknových optických deličov vo viditeľnom optickom spektre. V úvode podrobne opisuje princípy činnosti, správanie, zloženie a výrobu týchto pasívnych optických prvkov. Spolu s podrobným opisom ich parametrov pomôže vytvoriť čitateľovi detailný obraz o ich funkciách.

Ďalšia časť opisuje zadané deliče, s ktorými bol v praktickej časti pracované. V prácu sú uvedené detaily o týchto prvkoch v podobe ich parametrov. Vďaka tomu je možné predpokladať ich správanie v praktickom použití.

Nasledujúca praktická časť testuje meraním skutočný stav zadaných deličov a ich skutočné parametre. Výsledky tejto časti sú porovnateľné s predošlou časťou, teda s parametrami, ktoré o deličoch udáva výrobca.

Naposledným je vytvorenie simulácie. Tá dokáže vo virtuálnom výpočtovom prostredí uskutočniť správanie reálnych deličov podľa parametrov, ktoré boli zistené ich meraním. Zistíme, či je možné takúto simuláciu vytvoriť a jej výsledky porovnáme s výsledkami získanými z merania.

Záverom práce je zhodnotenie použitia a porovnania výsledkov simulácií, meraní a parametrov, ktoré udáva výrobca o testovaných deličoch.

---

## 2 Vláknové optické deliče vo viditeľnom spektre

Vláknový optický delič je pasívny komponent optickej siete, ktorý v nej hrá významnú rolu. Dokáže optické signály privedené na jeho vstup rozdeliť do viacerých výstupov. Tým umožňuje prístup k optickej sieti viacerým odoberateľom súčasne. Rovnako môže operovať aj v opačnom smere a kombinovať viac optických vlnových dĺžok z niekoľkých vstupov zariadenia na jeden samostatný optický signál pochádzajúci z jedného výstupu.

Diagram zobrazený nižšie demonštruje základný príklad toho ako môže byť svetlo z jedného optického vstupu rozdelené medzi 4 samostatné optické výstupy.  $P_{vst}$  symbolizuje svetelný výkon signálu privedenú na vstup deliča.  $P_{vyst1}$  až  $P_{vyst4}$  symbolizujú výkony rozdelené na výstupoch.



Obrázok 2.1: Diagram optického deliča 1x4

Väčšina optických deličov je schopná prenášať svetlo, ktoré je mimo viditeľné spektrum. Vlnové dĺžky s ktorými dokáže konkrétny optický delič operovať udáva výrobca. Rozsah týchto dĺžok ale v každom deliči obsahuje viditeľné spektrum, čo sú dĺžky od 380 nm do 750 nm.

Vláknové optické deliče sa využívajú ako pasívne prvky v pasívnych optických sieťach PON, káblovej televízií CATV, lokálnej sieti LAN, FTTx a ostatných distribúciách optických sietí[1].

### 2.1 Druhy vláknových optických deličov

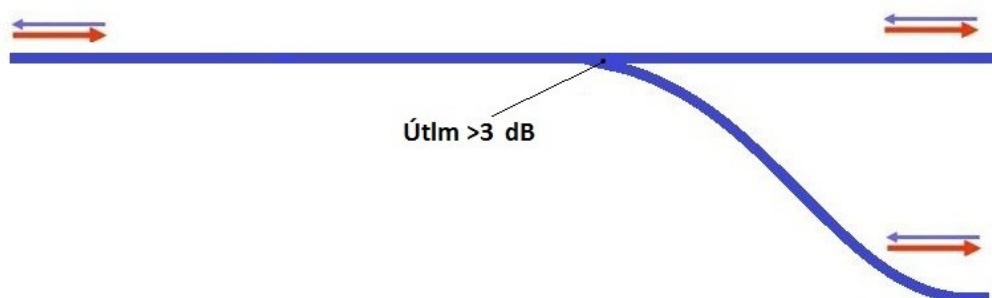
V dnešnej dobe sú najpopulárnejšie a najpoužívannejšie dva druhy optických vláknových deličov. Prvý označovaný ako FBT je vytvorený pomocou klasickej technológie zvárania optických vlákien. Druhý delič je nazývaný skratkou PLC.

#### 2.1.1 FBT

Fused Biconic Taper. Prvý z dvoch druhov najpoužívannejších optických vláknových deličov. Patria medzi základné zariadenia určené pre jednoduché delenie optických signálov. Charakteristikou týchto deličov sú nízke prechodové straty, možný rôzny či rovnaký deliaci a spojovací pomer, kompaktná veľkosť, široký rozsah prevádzkových vlnových dĺžok, mechanickú stabilitu a jednotný dizajn [3].

Ich princíp činnosti je jednoduchý a vysvetľuje podstatu všetkých vláknových deličov. Hlavnou časťou deliča je Y-spoj resp. V-spoj (pozri obrázok 2.2). Je to miesto, kde sa vstupné vlákno deliča rozdeľuje na dve výstupné, čo platí u jednoduchých 1:2 deličov. Takéto jednoduché rozdelenie

umožňuje rozdeliť optický signál rovnomerne. Vďaka tomu vzniká na každom výstupe deliča útlm o veľkosti 3 dB. Tento útlm predstavuje 50 % stratu výkonu. Samozrejme sa nejedná priamo o stratu. Ide o vlastnosť deliča, pretože v ideálnom prípade polovica vstupného výkonu prejde na jeden z výstupov a druhá polovica na druhý výstup deliča.



Obrázok 2.2: Y-spoj vláknového deliča FBT [3]

Túto skutočnosť dokazuje aj výpočet útlmu zvaného teoretickým deliacim útlmom vo vzorci č. 2.1 uvedenom nižšie. Týmto vzorcom sme schopný zistiť minimálny útlm spôsobený princípom činnosti vláknových deličov. Závisí od počtu výstupov konkrétneho deliča. Platí nielen pre deliče typu FBT ale aj pre PLC deliče. Tento útlm vzniká na spojoch optického deliča v oboch smeroch.

$$A_{td} = 10 \log \frac{1}{N}, \quad [\text{dB}] \quad (2.1)$$

kde  $A_{td}$  je teoretický deliaci útlm.  $N$  je počet výstupov deliča [4].

Často sa nachádzajú v pasívnych optických sieťach, lokálnych sieťach, či už tradičných alebo vysokorýchlostných, v systémoch káblvej televízie CATV, vláknových senzoroch, telekomunikačných systémoch určených na menšie aj veľké vzdialenosti. Nájdú svoje využitie aj digitálnych, hybridných alebo AM-video systémoch. Používajú sa tak isto ako jednoduché WDM deliče.

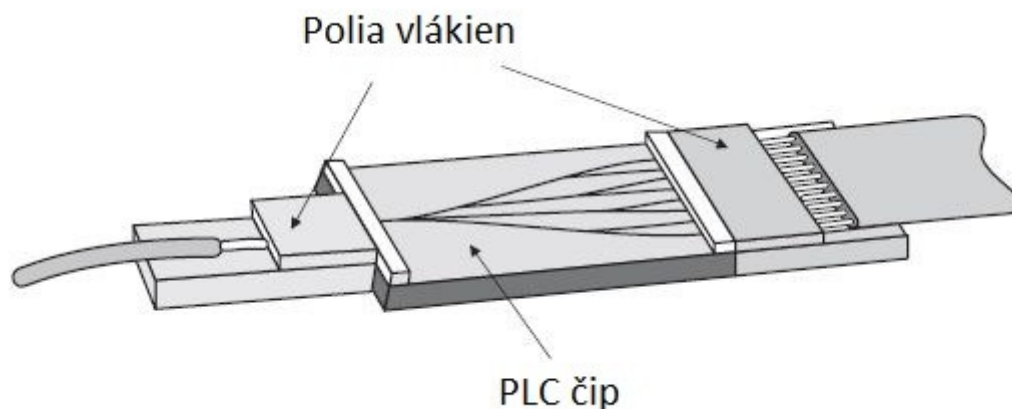
Pre ozrejmienie. WDM deliče sú deliče sa využívajú v širokopásmových sieťach. Ich princíp činnosti je založený na dichroických filtroch, ktoré spájajú a rozdeľujú svetlo podľa vlnových dĺžok. Niektoré jestvujúce WDM deliče sa výzorovo podobajú vláknovým deličom, no nemôžu sa za vláknové považovať. To z dôvodu už spomínaných filtrov, pred ktorými je vlákno WDM deliča opticky ukončené [5].

### 2.1.2 PLC

PLC deliče využívajú technológiu zvanú Planar Lightwave Circuit. Práve deliče pracujúce touto technológiou demonštrujú významné zlepšenie v spoľahlivosti, cene, vstupnom útlme a nehomogenite deliaceho pomeru [4].

Hlavnou časťou tohto deliča je PLC čip zahŕňajúci vlnovody vyrobené z kremíku, či kremeňa. Tie sú upravené do podoby Y-spojov. Pre 1:N delič jedna strana deliča pripojená k vláknu, ktoré sa dá nazvať vstupom. Druhá strana má pripojené  $N$  počet vlákien, taktiež možné nazývať výstupmi. Vlákna sú pripojené k čipu pomocou polí vlákien (pozri obrázok 2.3). Typicky sa vyskytujú deliče

s počtom 16, či 32 výstupov ale vzhľadom na stále rastúce požiadavky v optických sieťach sa objavujú už aj PLC deliče s počtom 64 výstupov.



Obrázok 2.3: PLC delič [4]

V porovnaní s FBT deličmi, PLC technológia umožňuje pre zariadenia o veľkosti čipu mnoho potencionálnych integrovaných funkcií. Napríklad WDM delič vstavaný v jednom čipe. Taktiež umožňuje menší útlm jednotnosti v operačnej šírke pásma od 1250 nm až do 1625 nm. Rozsah operačných teplôt je u tohto deliča väčší a to konkrétne od -40 °C do 80 °C.

Popri útlmu jednotnosti, ďalším dôležitým parametrom je vstupný výkon. Ten vplyva na výkon sietí a ich celkové náklady. Nižší vstupný výkon PLC deliča rozširuje množstvo užívateľov, ktorý sa môžu nachádzať v rovnakej optickej sieti. To zároveň zvýši príjem poskytovateľov týchto sietí. Netreba ale zabúdať na teoretický deliaci útlm pripísaný k rozdeleniu vstupného optického signálu medzi množstvom výstupov. Ten je daný vzťahom 2.1.

Celkový útlm tohto deliča je zložený z viacerých útlmov (pozri podkapitolu 2.2.5), ktoré majú rôzne zapríčinenie. PLC delič trpí nadmerným vstupným útlmom vzniknutým v poli vlákien zarovnaných k PLC čipu. Útlm jednotnosti výstupných vlákien pripojených na čip je spôsobený ich sklom a nepresnosťami v spojach medzi vláknami a čipom. Vzniknutý útlm je spôsobený nepresnosťami vytvorených pri výrobe. Pre zmenšenie útlmových hodnôt deliča sa dbá na redukovanie útlmu, ktorý je spôsobený konektormi a materiálom z ktorého sa vyrába čip samotný. Tým sa zmenšuje nejednotnosť výstupov. Útlm vzniknutý na konektoroch je možné zlepšiť z 0,5 dB na 0,15 dB vďaka použitiu vysoko kvalitných ferulí skombinovaný s dôkladným spôsobom čistenia. S výhodami terajšieho výrobného procesu polí vlákien a PLC čipu je možné zredukovať útlm nejednotností z 0,7 dB na 0,4 dB a z 1,8 dB na 1,0 dB.

Vďaka tomu má PLC delič o 1 dB až 1,5 dB viac než ideálny deliaci útlm. Spolu s útlmom nejednotnosti je celkový ostatný útlm nižším než 2 dB skrze celú špecifikovanú vlnovú dĺžku od 1250 nm do 1625 nm.

## 2.2 Technické parametre

Každý optický delič má určité technické parametre, ktoré opisujú jeho vlastnosti a správanie v daných podmienkach. Informácie o týchto parametroch vždy uvádza výrobca a môžeme ich nájsť v katalógoch. Pomocou týchto parametrov si môžeme vybrať produkt, ktorý najviac vyhovuje naším požiadavkám.

### 2.2.1 Prevádzkové pásmo

Alebo taktiež prevádzková vlnová dĺžka je parameter optického deliča, ktorý určuje rozsah vlnových dĺžok signálu. Pre signály s dĺžkou patriacou do uvedenému rozsahu je delič konštruovaný a s týmito signálmi dokáže správne plniť svoju funkciu. Závisí od typu vlákna použitého pri konštrukcii deliča.

Tento parameter je uvádzaný v nanometroch [6].

### 2.2.2 Technológia

Tento parameter udáva informácie o tom akú technológiu využíva daný delič, resp. akou technológiou bol vyrobený. U vláknových optických deličov je to buď PLC alebo FBT ako sme už spomínali.

### 2.2.3 Typ optického vlákna

Parameter určujúci typ optického vlákna použitého pri výrobe deliča. Výrobca môže použiť vlákna vyrobené z rôznych materiálov, prípadne ich rôzne druhy ako napr. jedno módomové alebo multi módomové vlákna. K tomuto parametru sa vzťahuje viacero informácií. Konkrétne ide o materiál, z ktorého je vyrobené jadro, plášť alebo priemer jadra, izolácie či numerickú apretúru

Niektorý výrobcovia sú schopní prispôsobiť sa požiadavkám zákazníka. Dokážu vyrobiť na objednávku delič z rôznych druhov vlákien podľa stanovenej ponuky.

### 2.2.4 Konektory

Nesie informácie o type konektora, ktorý je súčasťou deliča. Na základe typu konektoru sa určuje aj výstupný útlm konektoru. Význam parametru výstupný útlm je uvedený nižšie.

Rovnako ako aj u parametru typu vlákna jestvujú výrobcovia schopní vyrobiť delič s konektormi, ktoré si vybral zákazník.

### 2.2.5 Útlm

Útlm v optických sieťach je mierka množstva straty výkonu svetelného signálu medzi dvomi bodmi, ktoré môžeme nazývať ako vstup a výstup. Vyjadruje sa v jednotke decibel (dB) [6].

$$A = 10 \log \frac{P_{vst}}{P_{vyst}}, \quad [\text{dB}; \text{W}, \text{W}] \quad (2.2)$$

kde  $A$  je útlm.  $P_{vst}$  je výkon privedený na vstup.  $P_{vyst}$  je výkon zmeraný na výstupe.

Rôzni výrobcovia udávajú u deličov tento parameter rôzne. Tak isto jestvuje viac druhov útlmov, ktoré sa týkajú optických deličov. U vláknového optického deliča môže byť útlm spôsobený vo V resp. Y spojoch, konektormi, teplotou okolitého prostredia, ohybom vlákna a pod.. Na útlm optického deliča sa dá pozerieť z viacerých uhlov pohľadu. Preto je možné sa stretnúť s niekoľkými rôznymi parametrami optických deličov, ktoré sa vzťahujú na útlm.

Tieto parametre sú nadmerný útlm, vstupný útlm, spätný útlm, útlm závislý od teploty, smerovosť, odrazivosť, jednotnosť kanálu a polarizačne závislý útlm.

Nadmerný útlm je logaritmicky vyjadrený pomer vstupného výkonu privedeného na vstupný konektor deliča a výstupného výkonu nameraného na všetkých výstupných konektoroch.

$$A_{exc} = 10 \log \frac{P_{vst}}{P_{vystv}}, \quad [\text{dB}; \text{W}, \text{W}] \quad (2.3)$$

kde  $A_{exc}$  je nadmerný útlm.  $P_{vst}$  je výkon privedený na vstup.  $P_{vystv}$  je výkon zmeraný na všetkých výstupných konektoroch vláknového optického deliča.

Vstupný útlm je logaritmický pomer optického výkonu privedeného na vstupný konektor a optického výkonu z ktoréhokoľvek samostatného výstupného konektora. Zahŕňa útlm spôsobený rozdzvojeniami v deliči a nadmerný útlm vzťahujúci sa len k jednému výstupu. Je to najužitočnejší parameter pre dizajn optického systému. Maximálny a minimálny vstupný útlm tvorí hornú a dolnú hranicu vzťahujúcu sa na všetky prevádzkové vlnové dĺžky deliča. Typický vstupný útlm je očakávaná hodnota nameraná v špecifickom strede rozsahu prevádzkových vlnových dĺžok. Multimódové deliče sú merané pri rovnomernom vyplnení vlákien. Pre tento útlm platí vzťah 2.2.

Útlm závislý od teploty sa taktiež nazýva aj ako teplotná stabilita. Je to útlm svetelného signálu v optickom vláknovom deliči spôsobený teplotou okolia. Ak tento parameter výrobcovia uvádzajú je uvedený ako najvyšší možný útlm spôsobený teplotou okolia.

Smerovosť je logaritmický pomer optického výkonu vpusteného do vstupného portu a optického výkonu vracajúceho sa k akémukoľvek inému vstupnému portu. Odvoláva sa na izoláciu blízkeho konca alebo na presluch blízkeho konca. Rovnako je udávaná ako kladná hodnota v decibeloch a je meraná na opticky ukončených vstupoch.

Spätný útlm je logaritmický pomer optického výkonu privedeného na vstupný port deliča a optického výkonu, ktorý sa vracia na ten istý vstupný port. Rovnako ako smerovosť tak aj výstupný útlm je vyjadrený v kladných hodnotách decibelov a meraný na všetkých vstupoch, ktoré sú opticky ukončené. Minimálna smerovosť a spätný útlm sú nižšie limity, ktoré sa vzťahujú v celom rozsahu vlnových dĺžok signálu uvedených v priepustnom pásme. Môžeme sa stretnúť aj s parametrom zvaným odrazivosť. V mnohých prípadoch je tento parameter synonymom k spätnému útlmu, no v skutočnosti ide práve o jeho zápornú hodnotu.

$$r = -A_{ret} = -\left(10 \log \frac{P_{vst}}{P_{ret}}\right), \quad [\text{dB}; \text{dB}; \text{W}, \text{W}] \quad (2.4)$$

kde  $r$  je odrazivosť.  $A_{ret}$  je nadmerný útlm.  $P_{vst}$  je výkon privedený na vstup.  $P_{ret}$  je výkon vracajúci sa na ten istý vstup.

Častým, no neposledným parametrom optických deličov je jednotnosť kanálu. Mnohokrát sa uvádza len ako jednotnosť a týka sa len určitých druhov deličov. A to tých, ktoré majú presne určený pomer delenia signálu. Jednotnosť je definovaná ako rozdiel medzi najväčším a najmenším vstupným útlmom všetkých výstupov deliča.

$$A_{uni} = A_{vstmax} - A_{vstmin}, \quad [\text{dB}; \text{dB}, \text{dB}] \quad (2.5)$$

kde  $A_{uni}$  je jednotnosť kanálu.  $A_{vstmax}$  je najvyšší vstupný útlm zo všetkých nameraných na výstupoch deliča.  $A_{vstmin}$  je najnižší vstupný útlm zo všetkých nameraných na výstupoch deliča.



Posledný druh útlmu, ktorý stojí za zmienku je polarizačne závislý útlm PDL. Prenos deliča a celkovo každého pasívneho optického prvku sa môže líšiť v závislosti na smere polarizácií svetla resp. svetelného signálu prechádzajúci týmto prvkom. PDL sa preto udáva ako maximálna a minimálna zmena vstupného útlmu deliča vzhľadom na všetky stavy polarizácie prechádzajúceho signálu.

### 2.2.6 Relatívny optický prenos

Ďalším zo spôsobov ako vyjadriť stratu optického výkonu, ktorá nastáva pri jeho prechádzaní cez prvok je skrze optický prenos. Tento parameter sa väčšinou uvádza ako relatívna hodnota priamo na listoch priložených k vyrobeným deličom. Percentuálne vyjadruje množstvo výkonu preneseného cez delič. Z tohto hľadiska ho môžeme preto kvalifikovať ako pomer výstupnej hodnoty optického výkonu oproti vstupnej hodnote výkonu. Stonásobok tejto hodnoty nám určí presné percento [7].

$$T = 100 \frac{P_{vyst}}{P_{vst}}, \quad [\%; W, W] \quad (2.6)$$

kde  $T$  je optický prenos.  $P_{vst}$  je výkon privedený na vstup.  $P_{vyst}$  je výkon zmeraný na konkrétnom výstupe prvku.

### 2.2.7 Rozmery

Fyzické rozmery deliča. Tento parameter udáva celkovú dĺžku vláknového optického deliča, prípadne rozmery jeho krytu, ak delič tento kryt má.

### 2.2.8 LTBR a STBR

Tento parametre sa týka nielen deličov ale aj samostatných vlákien a určujú povolený uhol ohybu vlákien. LTBR je dlhodobý povolený uhol ohybu vlákien deliča, napríklad pri jeho skladovaní. STBR je dovoľený krátkodobý ohyb vlákien deliča a jeho hodnota býva menšia, než hodnota LTBR. Samotný parameter sa udáva väčšinou v centimetroch. Je to minimálny polomer kružnice, ktorú môžeme s vláknami optického deliča vytvoriť aby delič fungoval správne.

Tiež sa odporúča tento uhol dodržiavať aby sme delič trvalo nepoškodili [8].

### 2.2.9 Prevádzková teplota

Rozsah teploty uvádzaný v stupňoch Celzia. Práve v tomto teplotnom rozsahu je delič schopný správne pracovať a dodržať vyššie uvedené parametre. Používanie deliča mimo uvedený teplotný rozsah nezaručuje správnu funkciu deliča a môže ho trvalo poškodiť.

## 2.3 Výroba

Postup výroby oboch deličov sa môže v konkrétnostiach líšiť. A to vďaka veľkému množstvu výrobcov. Pri ich výrobe sa ale používajú veľmi podobné postupy, či už pri FBT alebo PLC deličoch. Aj napriek tomu, že výrobcovia majú určité druhy deličov, ktoré sériovo vyrábajú, tak mnoho z nich je schopných prispôsobiť požiadavky zákazníka. Ten je schopný vybrať si z dostupných materiálov pre jadro vlákna, jeho izoláciu, konektory, typy ferulí a pod. Tak isto je možné kombinovať svoje

požiadavky na jeden výrobok, čo znamená, že výsledný delič môže mať nakoniec viac druhov výstupných vlákien.

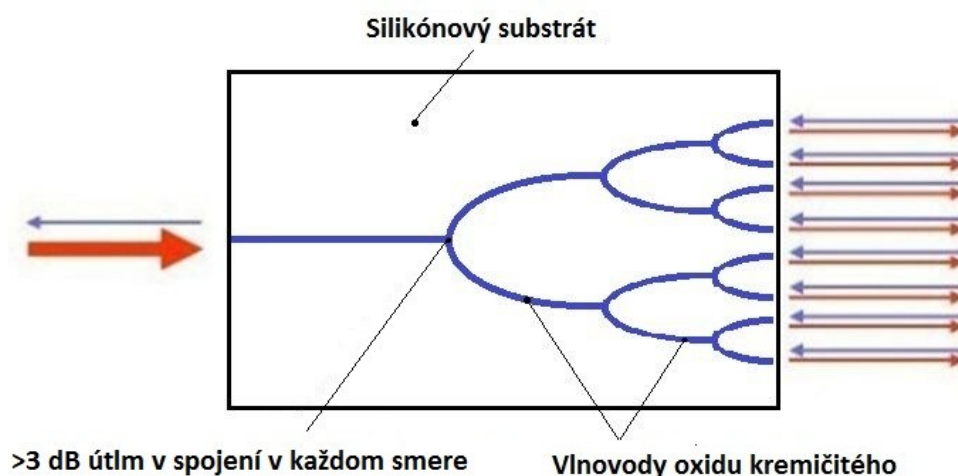
K samotnému postupu výroby. U FBT deličov sa ich Y-spoj vytvára tepelným spôsobom, teda zvaráním. Vysoká teplota roztaví a spojí jadra dvoch vlákien. Jeden z koncov druhého vlákna sa šetrne odstráni, čím vzniká čistý Y-spoj deliča. Na ten sa nanese izolačné vrstvy a kryt, ktorý zabezpečí spoj pred mechanickými poškodeniami. Konce vlákien deliča sa potom opticky zakončia konektormi. Na obrázku 2.4 je zobrazený spôsob vzniku FBT deliča.



Obrázok 2.4: Výroba Y-spojenia FBT deliča [3]

PLC delič sa vyrába spôsobom veľmi podobným výrobe polovodičov a to vďaka jeho hlavnej časti, PLC čipu. Pri výrobe čipu sa ako prvé vyrobí vlnovody, ktoré nesú presný deliaci tvar vlákien. Tie sú vyrobené z požadovaného vyčisteného kremíku alebo kremeňa, napr. z dioxidu kremičitého. Po nanosení vlnovodov sa na ne nanese silikónový substrát (pozri obrázok 2.5). Takto vyrobený čip zabezpečuje malé rozmery deliča. Delič 1:32 môže mať vďaka tomuto spôsobu výroby rozmery len niekoľko centimetrov kubických.

K čipu samotnému sa potom prirobia polia vlákien, ktoré mechanicky zabezpečujú vlákna vstupov a výstupov a pripájajú ich k PLC čipu.



Obrázok 2.5: PLC čip[3]

---

### 3 Zadané deliče

Vláknové optické deliče, ktoré sú súčasťou tejto kapitoly mi boli zadané vedúcim práce a sú majetkom VŠB. Každá podkapitola reprezentuje jeden zo zadaných deličov. Informácie obsiahnuté v týchto podkapitolách pochádzajú z katalógov od výrobcu a z dokumentácie, ktorá je pri deličoch priložená.

Obi dva zadané deliče sú vyrobené firmou Ocean Optics určené na laboratórne účely. Sú to pasívne optické prvky ypsilonového tvaru zakončené dvoma totožnými vláknami. Spoj deliča sa nachádza v strede celkovej dĺžky a ich vstup pozostáva len z jedného jediného vlákna. Výzorovo sú oba deliče rovnaké (pozri obrázok 3.1).



*Obrázok 3.1: Vláknový optický delič BIF50-UV-VIS a BIF50-VIS-NIR [8]*

Spracované sú výrobné informácie nielen o deličoch ako celkoch ale aj o vláknach, z ktorých sú vyrobené. Kódové označenie samotného deliča obsahuje aj kódové označenie konkrétneho typu vlákna, z ktorého je delič vyrobený, a ktoré má tiež svoje vlastné parametre.

Úvodom podkapitol sú tabuľky 3.1 a 3.2. V nich uvádzam všetky základné parametre, ktoré sú spomínané a vysvetlené v kapitole č.2. Hodnoty týchto parametrov pochádzajú z katalógov výrobcu. Po tabuľkách nasledujú grafy relatívnej optickej priepustnosti. Konkrétne hodnoty pri konkrétnych vlnových dĺžkach, z ktorých sú zostavené tieto grafy bohužiaľ nepoznáme. Tieto grafy sú súčasťou dokumentácie priloženej ku samotným optickým deličom.

Na záver podkapitol sú uvedené detaily a grafy útlmov vlákien, z ktorých je delič vyrobený. Rovnako ako u grafov relatívnej priepustnosti nepoznáme jeho konkrétne hodnoty pri konkrétnych vlnových dĺžkach.

### 3.1 Ocean Optics BIF50-UV-VIS

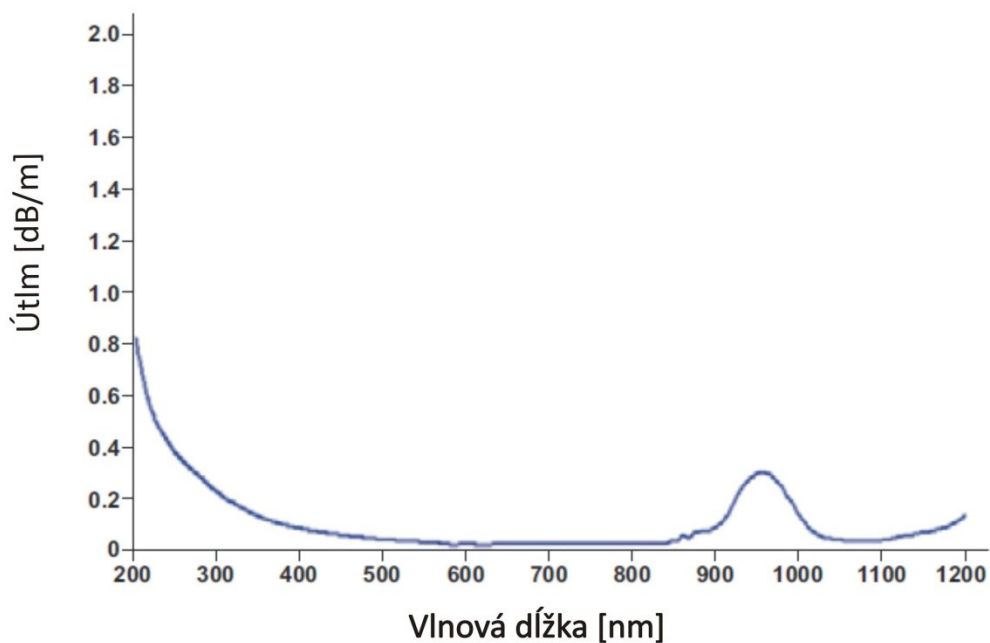
Tabuľka.3.1: Parametre deliča BIF50-UV-VIS

Kód deliča	Vlnová dĺžka	Priemer jadra	Izolácia	Dĺžka	LTBR	STBR
BIF50-UV-VIS	300 – 1100 nm	50µm ± 5µm	Polyimid	2 m	4 cm	2 cm
Profil vlákna	Typ jadra	Konektory	Dátum výroby	Prevádzková teplota	Prelom	Numerická apretúra*:
Step-index multimód	Čisté kremíkové jadro	SMA-905	14.6.2010	od -20 °C do 80 °C	Stred dĺžky 1 m	0,22 ± 0,02

\*Priateľný pre uhol 24.8° vo vzduchu

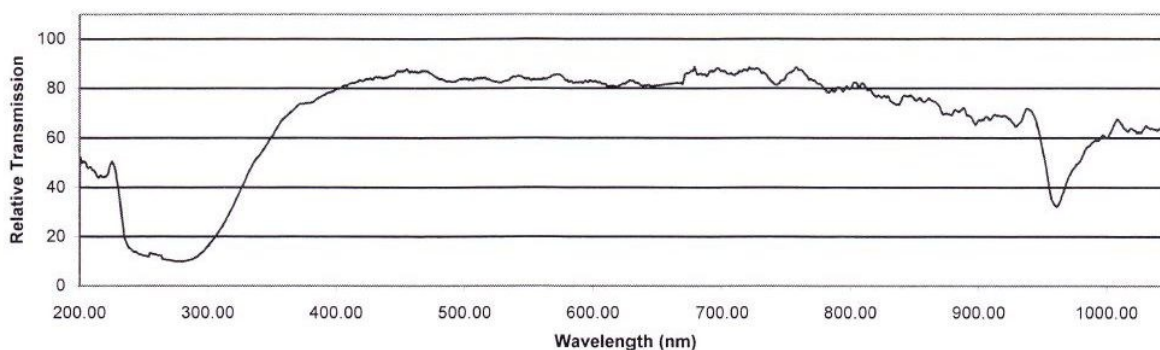
Výrobca u tohto deliča neuvádza žiadne hodnoty útlmu. Uvádza ale hodnoty útlmu jedného metru vlákna pri všetkých operačných vlnových dĺžkach a to v podobe grafu (pozri graf 3.1).

Graf 3.1: Útlm vlákna UV-VIS [8]

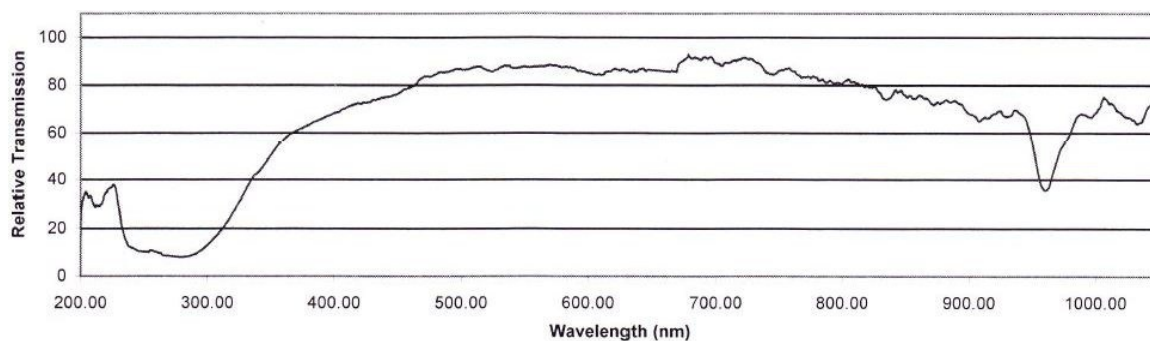


Ďalšou užitočnou informáciou pre naše merania pochádzajú z výrobných listov deliča, v ktorej je uvedený graf relatívneho optického prenosu. Každý výstup, resp. deliace vlákno má vlastný graf, ktorý bol meraný na konkrétnom vyrobenom deliči. Celý výrobný list, z ktorého sú prebrané spomínané grafy 3.2 a 3.3, nájdete v prílohe A.

Graf 3.2: Relatívny optický prenos výstupu č.1 deliča BIF50-UV-VIS



Graf 3.3: Relatívny optický prenos výstupu č.2 deliča BIF50-UV-VIS



### 3.2 Ocean Optics BIF50-VIS-NIR

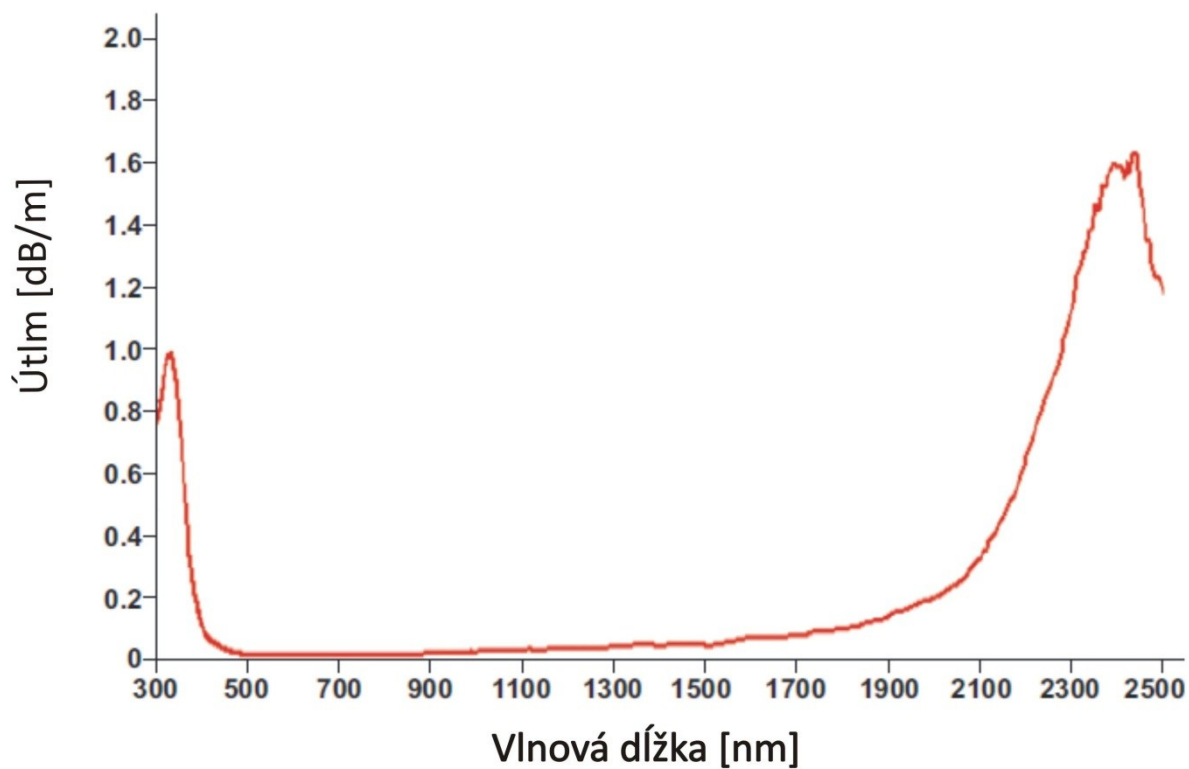
Tabuľka.3.2: Parametre deliča BIF50-VIS-NIR

Kód deliča	Vlnová dĺžka	Priemer jadra	Izolácia	Dĺžka	LTBR	STBR
BIF50-VIS-NIR	400 - 2500nm	50μm ± 5μm	Polyimid	2 m	4 cm	2 cm
Profil vlákna	Typ jadra	Konektory	Dátum výroby	Prevádzková teplota	Prelom	Numerická apertúra*:
Step-index multimód	Čisté kremíkové jadro	SMA-905	14.6.2010	od -20 °C do 80 °C	Stred dĺžky 1 m	0,22 ± 0,02

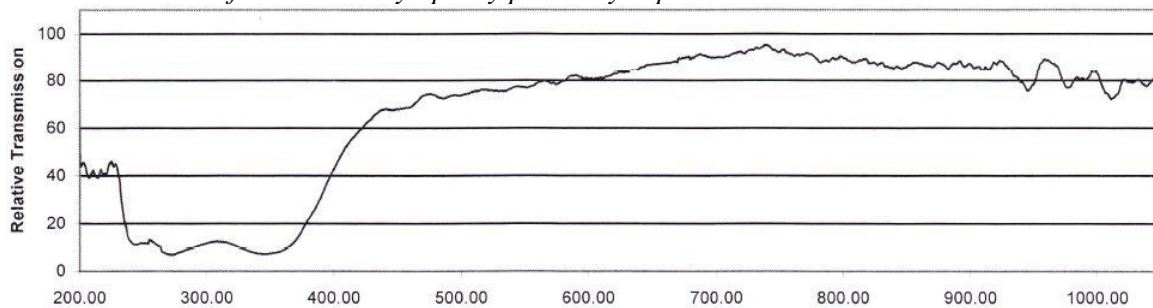
\*Prijateľný pre uhol 24.8° vo vzduchu

Tento delič má rovnakého výrobcu ako predošlý spomínaný zadaný delič. To znamená, že aj u neho sa uvádzajú parametre relatívneho optického prenosu a útlm vlákien (pozri graf 3.4) pomocou grafov. Presne tak ako aj u predošlého deliča listy ku komponentu sú od výrobcu a sú priložené v prílohe B. Grafy 3.5 a 3.6 sú prebrané práve z tejto prílohy.

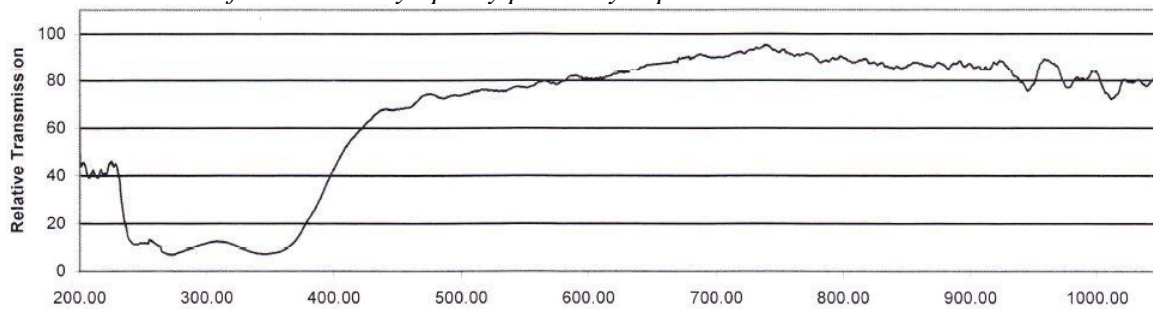
Graf 3.4: Útlm vlákna VIS-NIR [8]



Graf 3.5: Relativní optický prenos výstupu č.1 deliča BIF50-VIS-NIR



Graf 3.6: Relativní optický prenos výstupu č.2 deliča BIF50-VIS-NIR



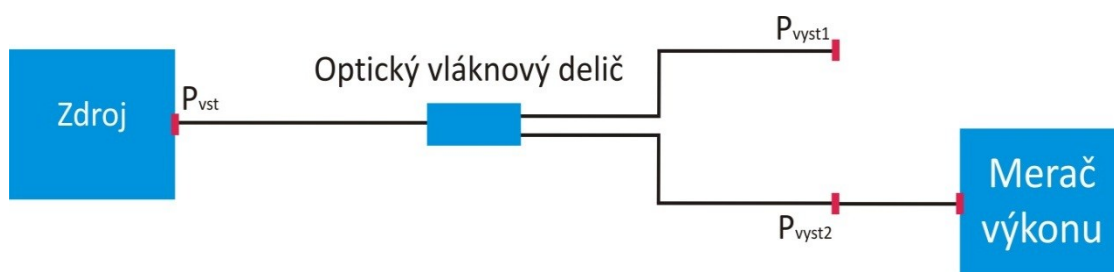
---

## 4 Meranie výkonu

Cieľom tohto merania je zistiť útlm a relatívny optický prenos zadáných deličov. Tieto hodnoty je možné potom porovnať s hodnotami, ktoré udáva výrobca. Parametre, ktoré chceme týmto meraním zistiť je možné získať výpočtom. Aby sme ich úspešne získali potrebujeme pre výpočty hodnoty vstupného výkonu a výstupných výkonov, ktoré získame práve týmto meraním.

### 4.1 Schéma zapojenia

Schéma zapojenia bola vytvorená po konzultácii s vedúcim práce. Bolo dbané na aktuálny stav všetkých použitých zariadení a zariadení, ktoré mohli byť pri meraní použité. Hlavnou snahou bolo docieľiť čo najpresnejšie výsledky s ktorými je možné ďalej pracovať.



Obrázok 4.1: Schéma zapojenia pre meranie výkonu

V schéme sú vyznačené miesta, kde bol zmeraný výkon svetelného signálu získaného zo zdroja. Získame tak vstupný výkon  $P_{vst}$ , výstupný výkon jedného výstupu  $P_{vyst1}$  a výstupný výkon druhého výstupu označený ako  $P_{vyst2}$ .

### 4.2 Použité zariadenia

Ako zdroj svetelného signálu sme použili zdroj bieleho svetla **Ocean Optics LS-1-CAL**. Merač výkonu **Thornlabs, PM100D**. Posledným komponentom meranej schémy boli samotné testované deliče **Ocean Optics BIF50-UV-VIS** a **Ocean Optics BIF50-VIS-NIR** spolu s pomôckami na čistenie.

### 4.3 Postup merania

Prvým krokom merania bola jeho príprava. Pripravil som si dostatočne pracovisko a použité zariadenia. Následne na to som si overil čistotu konektorov oboch dvoch deličov. Ak sa na nich nachádzali nečistoty odstránil som ich čistením. Čistenie som vykonával priebežne počas celého merania. Na zariadení PM100D bolo treba nastaviť vlnovú dĺžku signálu podľa ktorého bude prístroj nameraný signál vyhodnocovať. Kvôli tomuto dôvodu bola zvolená vlnová dĺžka 400 nm. Merač výkonu aj napriek tomu bude merať výkon celého spektra a keďže pri meraní používame širokospektrálny zdroj musíme dbať na vedomie, že hodnoty, ktoré nám prístroj ukáže sa vzťahujú

k celému spektru. Ten tieto získane údaje prepočítava pomocou kalibračnej krivky a práve pri vlnovej dĺžke 400 nm dostaneme najvyššie hodnoty.

Ak zmeníme na merači výkonu meranú vlnovú dĺžku na vyššiu merač nám ukáže iné hodnoty, nižšie, ale ich pomer, ktorý napokon vyjde najavo pri počítaní útlmu a prenosu bude rovnaký. Preto by bolo zbytočné robiť viac meraní s rôznymi vlnovými dĺžkami nastavenými na merači výkonu. Na širokospektrálnom zdroji bieleho svetla nebolo potrebné nič nastavovať. Stačilo ho iba zapnúť.

Druhým krokom bolo zapojiť zariadenia podľa schémy merania (pozri obrázok 4.1). Na miestach vyznačených v schéme bolo potrebné zmerať hodnoty výkonov. Tieto hodnoty som si po zmeraní poznamenal. Meranie samotné som potom uskutočnil potrebný počet-krát.

Zmerané hodnoty zaznamenané do tabuľky 4.1 a 4.2 Tieto výsledky boli neskôr spracované pomocou vzorcov 2.2 a 2.6 uvedených v kapitole 2. Z výsledkov nameraných aj vypočítaných som neskôr vypočítal aj chybu merania. Postup vypočítania tejto chyby nájdete v podkapitole 4.4.2.

### 4.4 Spracovanie výsledkov

Ako už bolo spomínané v podkapitole 4.3 s názvom postup merania namerané hodnoty boli spracované pomocou výpočtov. Tabuľka 4.1 uvádza hodnoty namerané na deliči BIF50-UV-VIS. Tabuľka 4.2 uvádza hodnoty namerané na deliči BIF50-VIS-NIR. Tie boli zaznamenané v oboch tabuľkách.

Ako už bolo spomínané, namerané výkony uvedené v tabuľkách sú najväčšie hodnoty celkového výkonu svetla, ktoré prechádza deličmi.

V prípade meraní, ktoré sú zaznamenané v tabuľke 4.2 boli uskutočnené dve nezávislé série meraní. Bolo tak učené preto, že delič BIF50-VIS-NIR sa javil ako nesymetrický a tým nesplňoval základnú vlastnosť, ktorá bola uvedená nielen výrobcom. Druhá séria meraní potvrdila, že tomu skutočne tak je.



Tabuľka.4.1: Namerané hodnoty deliča BIF50-UV-VIS

Vstupný výkon [mW]	Výkon výstupu 1 [ $\mu$ W]	Výkon výstupu 2 [ $\mu$ W]
12,80	39,82	45,10
<b>12,86</b>	<b>40,38</b>	<b>42,16</b>
12,87	40,26	44,20
12,85	40,73	44,10
12,89	40,84	43,90
12,90	40,74	44,20
12,93	40,05	45,70
12,88	40,53	44,50
12,82	40,52	44,40
12,90	39,84	45,80
12,91	39,84	45,90
12,89	40,53	44,10
12,89	38,46	46,00
12,87	38,87	49,30
12,86	39,74	45,80
12,93	39,70	45,70
12,87	39,68	45,70
12,94	40,59	43,70
12,85	40,46	43,80
12,83	40,45	43,80
12,84	39,89	45,20
12,82	40,34	44,40
12,81	40,28	44,60
12,89	39,69	45,60
12,92	40,48	43,90
12,93	40,51	44,00
12,91	40,54	43,70
12,90	40,46	44,10
12,90	40,26	44,60
12,94	40,28	44,40

Tabuľka.4.2: Namerané hodnoty deliča BIF50-VIS-NIR

Séria merania	Vstupný výkon [mW]	Výkon výstupu 1 [ $\mu$ W]	Výkon výstupu 2 [ $\mu$ W]
1	4,44	13,03	7,17
1	4,41	13,23	7,10
1	4,39	13,14	7,01
1	4,40	13,26	7,08
1	4,42	13,19	7,04
1	4,39	13,39	7,09
1	4,41	13,23	7,00
1	4,40	13,09	6,87
1	4,39	13,15	6,85
1	4,40	13,00	6,71
1	4,39	12,97	7,06
1	4,37	12,80	6,93
1	4,39	12,92	7,05
1	4,37	12,92	7,04
1	4,38	12,97	7,06
2	12,93	39,08	20,04
2	12,92	37,97	19,79
2	12,82	38,25	19,38
2	12,90	38,88	20,50
2	12,89	38,76	20,22
2	12,88	38,88	20,46
2	12,85	38,80	20,51
2	12,93	38,20	19,30
2	12,82	38,11	19,20
2	12,89	38,19	19,27
2	12,91	36,85	18,94
2	12,93	37,51	19,25
2	12,91	38,11	19,41
2	12,94	37,07	19,76
2	12,85	38,92	20,20

Hodnoty z vyznačeného riadku tabuľky 4.1 sú použité v nasledujúcom vzorovom výpočte útlmu a relatívneho prenosu. Vzorový výpočet chyby nameraných a vypočítaných hodnôt obsahujú priemery zo všetkých hodnôt uvedených v tabuľke. Presne tieto isté výpočty boli použité aj pri spracovaní výsledkov z tabuľky 4.2. Samotné výsledky sú uvedené v nasledujúcich podkapitolách.

#### 4.4.1 Výpočet hodnôt

Nasledujúci výpočet demonštruje spôsob dosiahnutia hodnôt útlmov A výstupu 1 a 2 a tak isto aj hodnotu oboch relatívnych prenosov T.

$$A_1 = 10 \log \frac{P_{vst}}{P_{vyst}} = 10 \log \frac{12\,860\,\mu W}{40,38\,\mu W} = 25,031\text{ dB}$$

$$A_2 = 10 \log \frac{P_{vst}}{P_{vyst}} = 10 \log \frac{12860\,\mu W}{42,16\,\mu W} = 24,843\text{ dB}$$

$$T_1 = 100 \frac{P_{vyst}}{\left(\frac{P_{vst}}{2}\right)} = 100 \frac{40,38\,\mu W}{6430\,\mu W} = 0,622\%$$

$$T_2 = 100 \frac{P_{vyst}}{\left(\frac{P_{vst}}{2}\right)} = 100 \frac{40,16\,\mu W}{6430\,\mu W} = 0,656\%$$

V nižšie uvedenej tabuľke 4.3 a 4.4 nájdete všetky vypočítané hodnoty relatívnych prenosov a útlmov oboch deličov. Vyznačený riadok v tabuľke 4.3 udáva hodnoty, ktoré sú výsledkom vzorových výpočtov.

Tabuľka.4.3: Vypočítané hodnoty pre BIF50-UV-VIS

Útlm výstupu 1 [dB]	Útlm výstupu 2 [dB]	Prenos výstupu 1 [%]	Prenos výstupu 2 [%]
25,071	24,530	0,622	0,705
25,031	24,843	0,628	0,656
25,047	24,642	0,626	0,687
24,990	24,645	0,634	0,686
24,992	24,678	0,634	0,681
25,006	24,652	0,632	0,685
25,090	24,517	0,619	0,707
25,021	24,616	0,629	0,691
25,002	24,605	0,632	0,693
25,103	24,497	0,618	0,710
25,106	24,491	0,617	0,711
25,025	24,658	0,629	0,684
25,252	24,475	0,597	0,714
25,200	24,167	0,604	0,766
25,100	24,484	0,618	0,712
25,128	24,517	0,614	0,707
25,110	24,497	0,617	0,710
25,035	24,715	0,627	0,675
25,019	24,674	0,630	0,682
25,013	24,668	0,631	0,683
25,077	24,534	0,621	0,704
25,022	24,605	0,629	0,693
25,025	24,582	0,629	0,696
25,116	24,513	0,616	0,708

Tabuľka.4.4: Vypočítané hodnoty pre BIF50-VIS-NIR

Útlm výstupu 1 [dB]	Útlm výstupu 2 [dB]	Prenos výstupu 1 [%]	Prenos výstupu 2 [%]
25,324	27,919	0,587	0,323
25,229	27,932	0,600	0,322
25,239	27,967	0,599	0,319
25,209	27,934	0,603	0,322
25,252	27,978	0,597	0,319
25,157	27,918	0,610	0,323
25,229	27,993	0,600	0,317
25,265	28,065	0,595	0,312
25,235	28,068	0,599	0,312
25,295	28,167	0,591	0,305
25,295	27,937	0,591	0,322
25,333	27,997	0,586	0,317
25,312	27,943	0,589	0,321
25,292	27,929	0,591	0,322
25,285	27,927	0,592	0,322
25,196	28,097	0,604	0,310
25,318	28,148	0,588	0,306
25,253	28,205	0,597	0,302
25,209	27,988	0,603	0,318
25,219	28,045	0,601	0,314
25,202	27,990	0,604	0,318
25,201	27,969	0,604	0,319
25,295	28,260	0,591	0,299
25,268	28,246	0,595	0,300
25,283	28,254	0,593	0,299
25,445	28,335	0,571	0,293
25,375	28,272	0,580	0,298
25,299	28,229	0,590	0,301
25,429	28,161	0,573	0,305
25,187	28,036	0,606	0,314

#### 4.4.2 Chyby merania

Pri meraní akejkoľvek fyzikálnej veličiny, či už ide o merania jednoduché alebo náročnejšie, sa dopúšťame nepresností. Tým pádom sa výsledok merania líši od skutočnej hodnoty. Rozdiel medzi skutočnou hodnotou  $X$  a nameranou hodnotou  $x$  je chyba merania  $\varepsilon$ . Chyba môže byť kladná aj záporná. Ak je chyba kladná musíme ju od nameranej hodnoty odpočítať ak záporná musíme ju od nameranej hodnoty odčítať. Chyby jestvujú systematické (sústavné), náhodné, osobné.

Z troch známych druhov chýb, ktoré poznáme sa pri našom meraní stretávame najčastejšie s chybou náhodnou. Tá je spôsobená náhodnými, nepravidelne sa meniacimi vonkajšími podmienkami a vplyvmi. Nedajú sa úplne odstrániť ale môžeme ich určiť z niekoľkonásobne opakujúcich sa meraní. Preto boli merania oboch deličov uskutočnené v sériách. V tých bolo zmeraných viacero hodnôt. Predpokladáme, že vzniknuté chyby vzhľadom na štatistický charakter, sa vyskytujú s rovnakou pravdepodobnosťou kladné aj záporné. Preto pri výpočte náhodnej chyby pri nameraných hodnotách bola použitá Gaussova metóda odstránenia náhodných chýb. V tejto metóde počítame s maximálnou chybou  $\bar{\chi}$ .

To znamená, že pravdepodobnosť výskytu skutočnej hodnoty v intervale okolo jedného náhodného vybraného merania je 99,73 %, čo je prakticky istota [9].

$$\bar{\chi} = 3\bar{\delta}, \quad [-] \quad (4.1)$$

kde  $\bar{\delta}$  je stredná kvadratická chyba charakterizujúca nepresnosť aritmetického priemeru.

Môžeme očakávať, že aritmetický priemer  $\bar{x}$  pri konečnom a dostatočnom počte meraní sa líši od skutočnej hodnoty len veľmi málo. A potom odchýlky  $\Delta i$  í-tého merania od aritmetického priemeru sa líšia o hodnotu í-tého merania  $x_i$  tak ako je uvedené vo vzťahu:

$$\Delta i = \bar{x} - x_i. \quad [-] \quad (4.2)$$

Nepresnosť aritmetického priemeru od skutočnej hodnoty nameranej veličiny je menšia ako nepresnosť jedného náhodne vybraného merania. Túto nepresnosť charakterizuje už spomínaná  $\bar{\delta}$  a je definovaná vzťahom :

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta i^2}. \quad [-] \quad (4.3)$$

Kde  $n$  je počet uskutočnených meraní.

Postup spracovania chýb z meraní uskutočnených na deliči je nasledovný. Z  $n$  počtu nameraných hodnôt série merania určíme aritmetický priemer  $\bar{x}$ . Stanovíme zdanlivú chybu  $\Delta i$  pre každé samostatné merania podľa vzťahu 4.3. Následne vypočítame strednú kvadratickú chybu  $\bar{\delta}$  a dosadíme ju do výpočtu maximálnej chyby  $\bar{\chi}$ , čo je vlastne jej trojnásobok. Takto vypočítanú chybu zapíšeme do tabuľky výsledkov v požadovanom tvare. Vzorový výpočet tejto chyby uskutočnený na všetkých meraniach nájdete na konci podkapitoly.

Takto vypočítaná chyba merania sa dá použiť len na priamo nameraných veličinách. Keďže meranie bolo uskutočnené tak, aby sa z jeho hodnôt vypočítali iné veličiny, musíme počítať, že aj vypočítané veličiny z nameraných hodnôt budú obsahovať náhodné chyby rovnako, ako hodnoty namerané, z ktorých boli v konečnom dôsledku vypočítané. Aby sme boli schopný spoľahlivo určiť aj chybu tejto vypočítanej veličiny. Vzťahy použité pre výpočet týchto veličín, napr. útlmu v tomto prípade budeme považovať za funkcie  $f$  s viacerými premennými veličinami, napr.  $a, b, c, \dots$

Výslednú chybu vyšetrovanej veličiny určíme podľa nasledovného vzťahu:

$$\Delta X = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 (\Delta a)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 (\Delta b)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c}\right)^2 (\Delta c)^2 + \dots}. \quad [-] \quad (4.4)$$

$\Delta X$  považujeme za chybu nepriameho merania. Do vzťahu 4.4 za a, b, c, dosadzujeme stredné hodnoty, napr. aritmetický priemer. Pod  $\Delta a, \Delta b, \Delta c$ , rozumieme chyby aritmetického priemeru, v našom prípade maximálnu chybu merania  $\bar{\chi}$ .

Nižšie uvedený vzorový výpočet demonštruje konkrétneho výpočtu, ktorý bol použitý pre výpočet všetkých chýb. Vo vzorovom výpočte samotnom je vypočítaná chyba pre nameranú hodnotu vstupného výkonu deliča BIF-UV-VIS a výpočet útlmu vetve č.1 toho istého deliča.

$$\bar{x} = \frac{(\sum_{i=1}^{30} P_{vst})}{30} = 12,880 \text{ mW}$$

$$\bar{\chi} = 3 \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{30} \Delta i^2} = 3 \sqrt{\frac{1}{30(29)} \sum_{i=1}^{30} (12,880 - P_{vst\_i})^2} = 0,630$$

$$\Delta X = \sqrt{\left(\frac{\partial A_1}{\partial P_{vst}}\right)^2 (\Delta P_{vst})^2 + \left(\frac{\partial A_1}{\partial P_{vyst}}\right)^2 (\Delta P_{vyst})^2} = 2,169$$

#### 4.5 Výsledky deliča Ocean Optics BIF50-UV-VIS

V tabuľke 4.5 sú uvedené výsledné namerané aj vypočítané hodnoty spolu s maximálnou chybou spôsobenou náhodnými chybami pre delič Ocean Optics BIF50-UV-VIS.

Tabuľka.4.5: Výsledné hodnoty z meraní výkonu pre BIF50-UV-VIS

Číslo série meraní	Vstupný výkon	Výstupný výkon č.1	Výstupný výkon č.2
1	12,880 mW $\pm$ 0,630 mW	40,159 $\mu$ W $\pm$ 8,484 $\mu$ W	44,745 $\mu$ W $\pm$ 19,703 $\mu$ W
Útlm vetve č.1	Útlm vetve č.2	Relatívny prenos výstupu č.1	Relatívny prenos výstupu č.2
25,062 dB $\pm$ 2,169 dB	24,593 dB $\pm$ 4,430 dB	0,624 % $\pm$ 0,049 %	0,695 % $\pm$ 0,049 %

#### 4.6 Výsledky deliča Ocean Optics BIF50-VIS-NIR

V tabuľke 4.6 sa nachádzajú výsledné namerané hodnoty výkonu a vypočítané hodnoty útlmu a relatívneho prenosu optického deliča Ocean Optics BIF50-VIS-NIR. V tabuľke sú hodnoty z oboch sérií meraní. Môžeme predpokladať, že skutočné hodnoty týkajúce sa tohto deliča sa nachádza v oboch rozsahoch hodnôt z oboch sérií meraní.

Tabuľka.4.6: Výsledné hodnoty z meraní výkonu pre BIF50-VIS-NIR

Číslo série meraní	Vstupný výkon	Výstupný výkon č.1	Výstupný výkon č.2
1	4,397mW $\pm$ 0,199 mW	13,086 $\mu$ W $\pm$ 1,730 $\mu$ W	7,004 $\mu$ W $\pm$ 1,278 $\mu$ W
2	12,891mW $\pm$ 0,432 mW	38,239 $\mu$ W $\pm$ 7,398 $\mu$ W	19,749 $\mu$ W $\pm$ 5,831 $\mu$ W
Útlm vetve č.1	Útlm vetve č.2	Relatívny prenos výstupu č.1	Relatívny prenos výstupu č.2
25,263 dB $\pm$ 1,398 dB	27,978 dB $\pm$ 1,881 dB	0,595 % $\pm$ 0,052 %	0,319 % $\pm$ 0,052 %
25,279 dB $\pm$ 1,964 dB	28,149 dB $\pm$ 2,971 dB	0,593 % $\pm$ 0,034 %	0,306 % $\pm$ 0,034 %

## 4.7 Zhodnotenie merania výkonu

Výsledky v tabuľkách 4.5 a 4.6 nám jasne ukazujú reálny stav oboch meraných deličov. Ak sa pozrieme na hodnoty útlmu a relatívneho optického prenosu v grafoch kapitol 3.1 a 3.2 môžeme vidieť, že skutočne hodnoty oproti tým, ktoré udáva výrobca sú rapídne horšie. Oba deliče majú podľa grafov relatívneho prenosu najhorší prenos približne 10 % a najlepší okolo 90 %. Podľa nameraných hodnôt sme ale zistili, že ani jeden z deličov nemá celkový prenos väčší než 1 %.

Z pohľadu útlmu môžeme vidieť, že rozsahy vypočítaných útlmov sa pohybujú od 20 do 30 dB. Ak sa pozrieme na hodnoty útlmov vlákien, ktoré udáva výrobca a počítame s deliacim útlmom 3 dB nedostaneme sa ani u jedného z deličov pri akejkoľvek vlnovej dĺžke nad 5 dB.

Delič BIF50-VIS-NIR nedodrжал ani vlastnosť symetrického delenia a práve jeho druhá vetva prepúšťala približne o polovicu menej výkonu svetla než prvý výstup. Naopak delič BIF50-UV-VIS je symetrický tak ako udáva výrobca. Práve nesymetria deliča BIF50-VIS-NIR bola dôvodom, prečo som sa rozhodol nahliadnuť spektrometrom na prepúšťané spektrum oboch deličov v podobe orientačného merania, ktoré nám má symetriu oboch deličov potvrdiť alebo vyvrátiť (pozri kapitolu 4).

Vzhľadom na namerané výsledky môžeme tvrdiť, že obidva deliče v žiadnom prípade nespĺňajú parametre, ktoré u nich udáva výrobca a už vôbec nie sú schopné použitia v akýchkoľvek sieťach alebo sústavách. Tento fakt bol viditeľný už pri prvom meraní a zhotovovaní schémy kde ani jeden delič nebol schopný prepustiť merateľné množstvo svetelného výkonu ak sa v zapojení medzi deličom a zdrojom objavilo predradné vlákno. Vlákno sme nepoužili práve kvôli tomuto dôvodu a s pomocou nastavenej vlnovej dĺžky 400 nm na merači výkonu sme boli schopný odčítať aspoň malé hodnoty výkonov.

Neschopnosť použitia deličov a ich nesprávna funkcia bude zapríčinená zrejme ich poškodením. Samotné deliče boli vyrobené v strede roku 2010 (pozri príloha A a B) a ich minulosť od roku 2010 do začiatku roku 2013, kedy bolo meranie uskutočnené, bola neznáma. Domnievam sa preto, že práve vtedy došlo k ich poškodeniu.

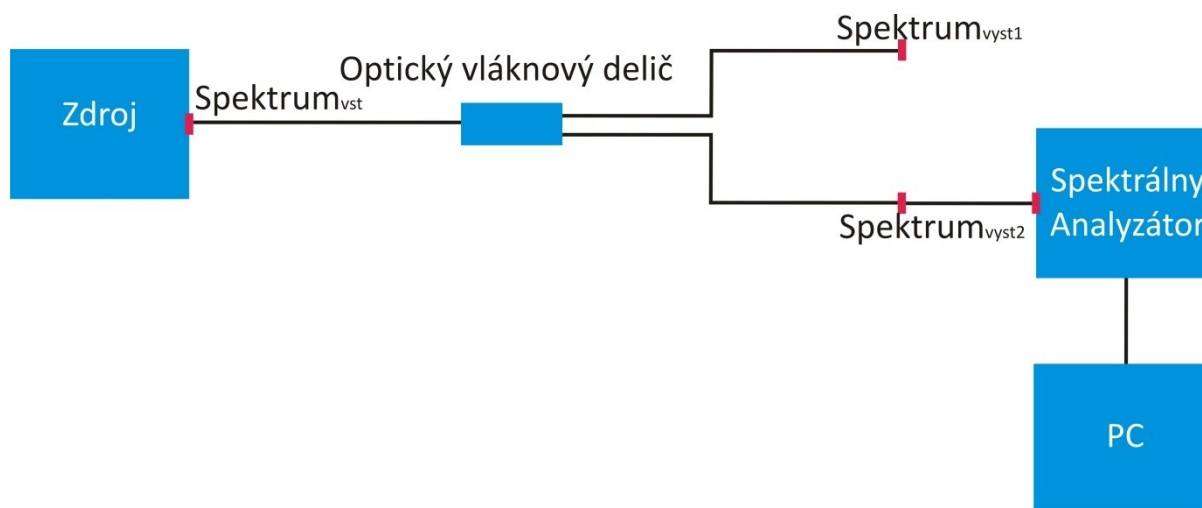
---

## 5 Meranie Spektra

Jedná sa o orientačné meranie, ktoré nám umožňuje nahliadnuť na celé svetelné spektrum signálu vychádzajúcim zo zdroja bieleho svetla a následne potom aj z daného deliča. Cieľom tohto merania je overiť symetriu alebo nesymetriu testovaných deličov.

### 5.1 Schéma zapojenia

Schéma zapojenia pri tomto meraní je temer rovnaká ako u merania výkonu. Jediným rozdielom je, že namiesto merača výkonu je v tomto prípade použitý spektrometer, ktorý je pripojený k PC. Samozrejme na tomto PC musí byť nainštalovaný softvér, ktorý spolupracuje s spektrálnym analyzátorom.



Obrázok 5.1: Schéma zapojenia pre meranie spektra

### 5.2 Použité zariadenia a software

V tomto meraní boli tak ako v predošlom použité deliče **BIF50-UV-VIS** a **BIF50-VIS-NIR** spolu so zdrojom bieleho svetla **Ocean Optics LS-1-CAL**. Spektrálny analyzátor **RED TIDE USB650** wavelenght calibrator spolupracoval s PC. Konkrétne s fungujúcim softvérom názvu **SpectraSuite v. 1.0.0.0** z 30.9.2011 od Ocean Optics. Ako posledná časť potrebná pri meraní boli pomôcky na čistenie.



### 5.3 Postup merania

Z väčšej časti bolo meranie podobné meraniu výkonu.

Po pripravení pracoviska a prístrojov spolu s potrebným software bolo potrebné overiť čistotu konektorov deliča, ktorý mal byť meraný. Ak sa na konektoroch nachádzali nečistoty odstránili sme ich. Kontrola nečistôt na konektoroch bola uskutočnená priebežne.

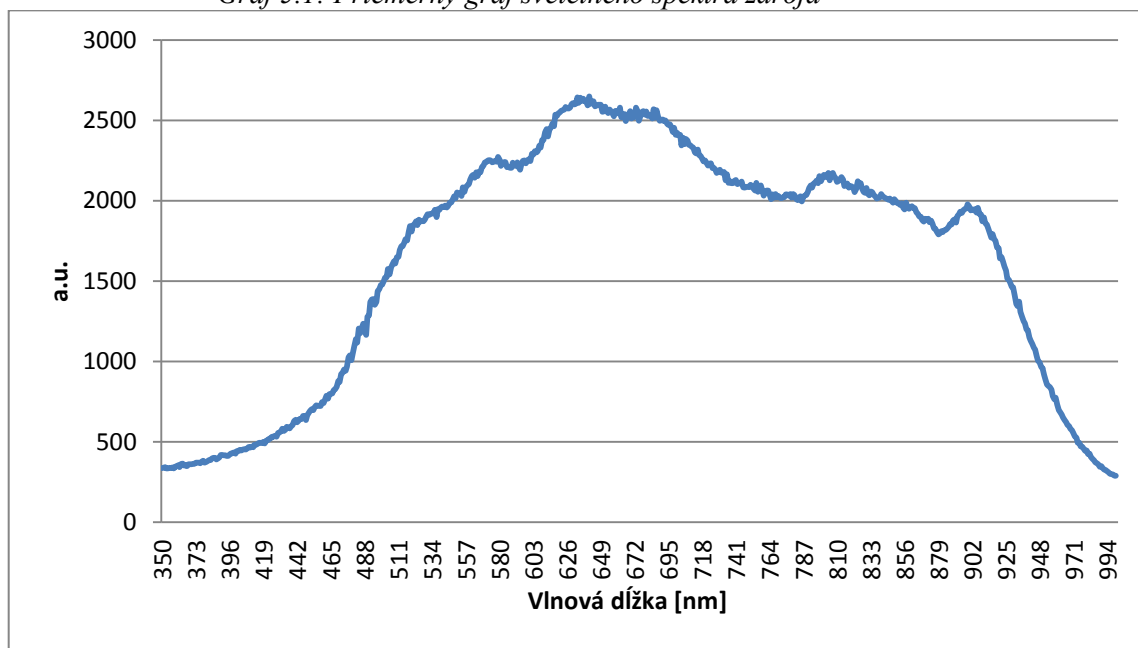
V prvom kroku bolo merané spektrum zdroja samotného. Predpokladáme, že zdroj je ustálený, a že sa tým pádom spektrum svetelného signálu, ktorý produkuje, nemení. Následne na to zmeriame spektrum oboch výstupov oboch deličov.

Na záver určíme ich priemerné grafy, ktoré sú uvedené nižšie v podkapitolách 5.4, 5.5 a 5.6.

### 5.4 Spektrum zdroja

V grafe 5.1 môžeme vidieť ako približne vyzerá spektrum bieleho svetla vychádzajúceho zo zdroja. Je vidieť, že sa jedná o širokospektrálny zdroj a môžeme počítať, že spektrum veľmi podobné tomuto ustálený zdroj vyžaruje.

*Graf 5.1: Priemerný graf svetelného spektra zdroja*

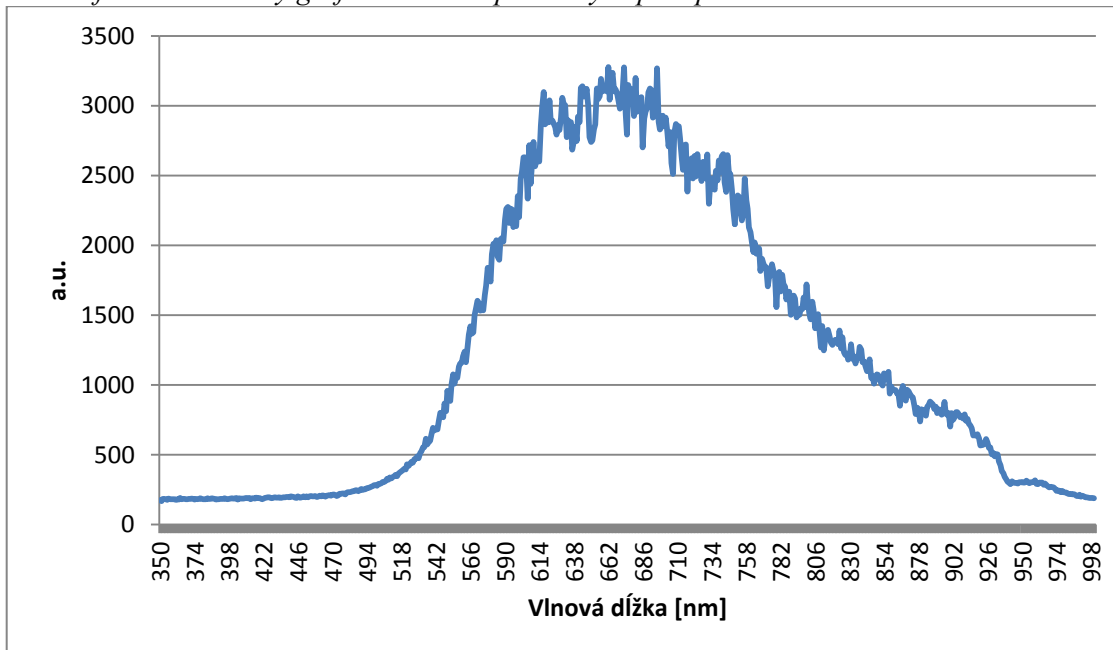


## 5.5 Spektrum výstupov deliča Ocean Optics BIF50-UV-VIS

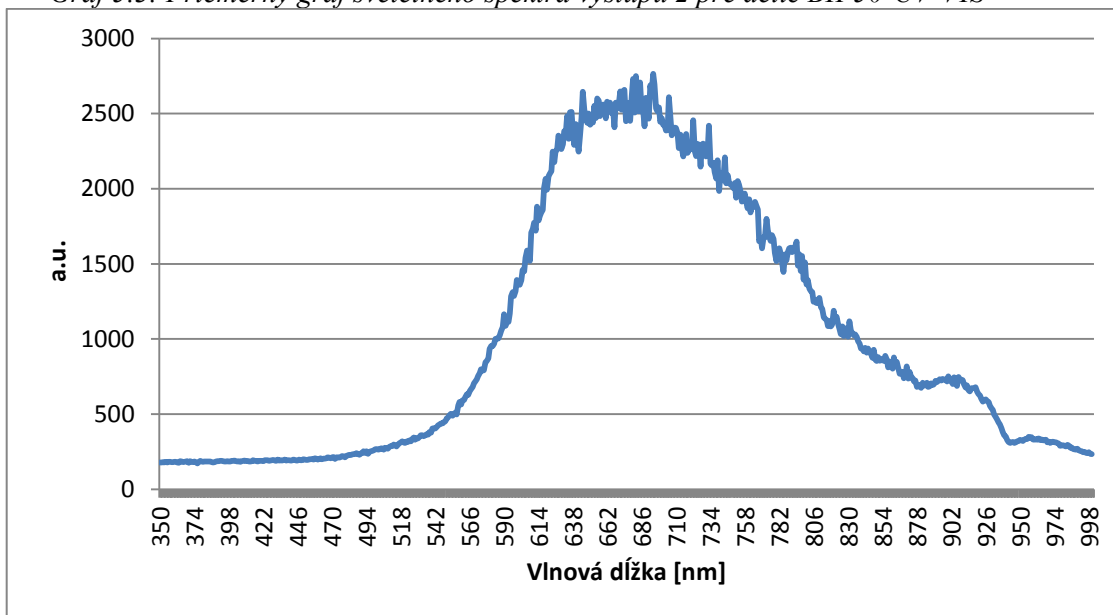
Grafy 5.2 a 5.3 zobrazujú spektrum vychádzajúce z výstupov deliča. Môžeme vidieť, že grafy sú si navzájom veľmi podobné. Vďaka tomuto môžeme tvrdiť, že výstupy deliča BIF50-UV-VIS sú symetrické.

Tiež môžeme vidieť, že delič prepúšťa najlepšie signály s vlnovými dĺžkami od približne 590 nm až po signály s približnou vlnovou dĺžkou 780 nm.

*Graf 5.2: Priemerný graf svetelného spektra výstupu 1 pre delič BIF50-UV-VIS*



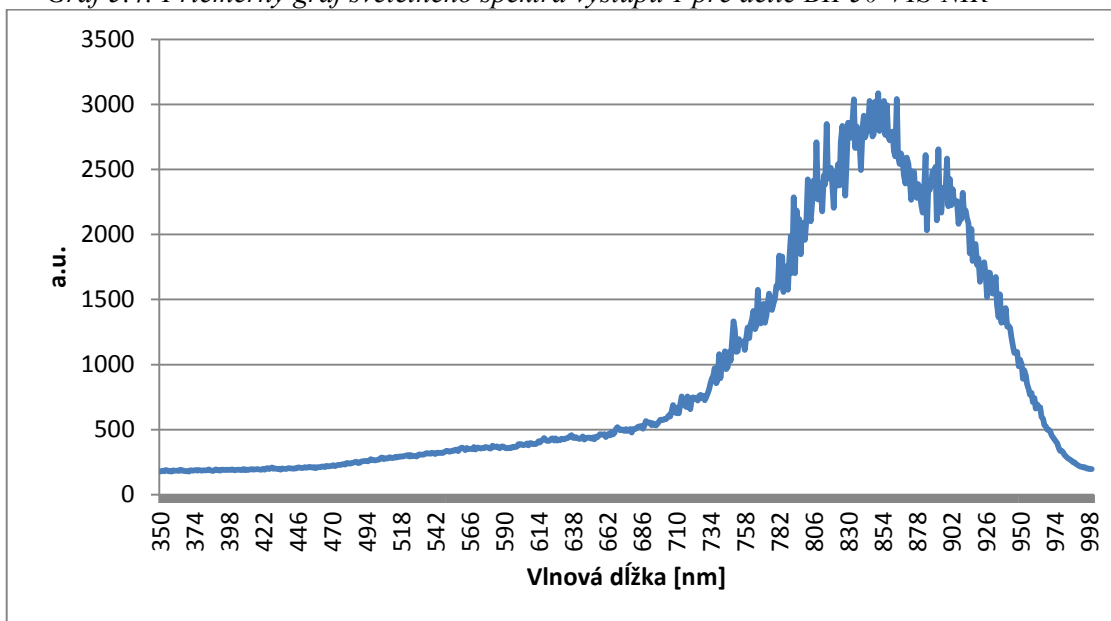
*Graf 5.3: Priemerný graf svetelného spektra výstupu 2 pre delič BIF50-UV-VIS*



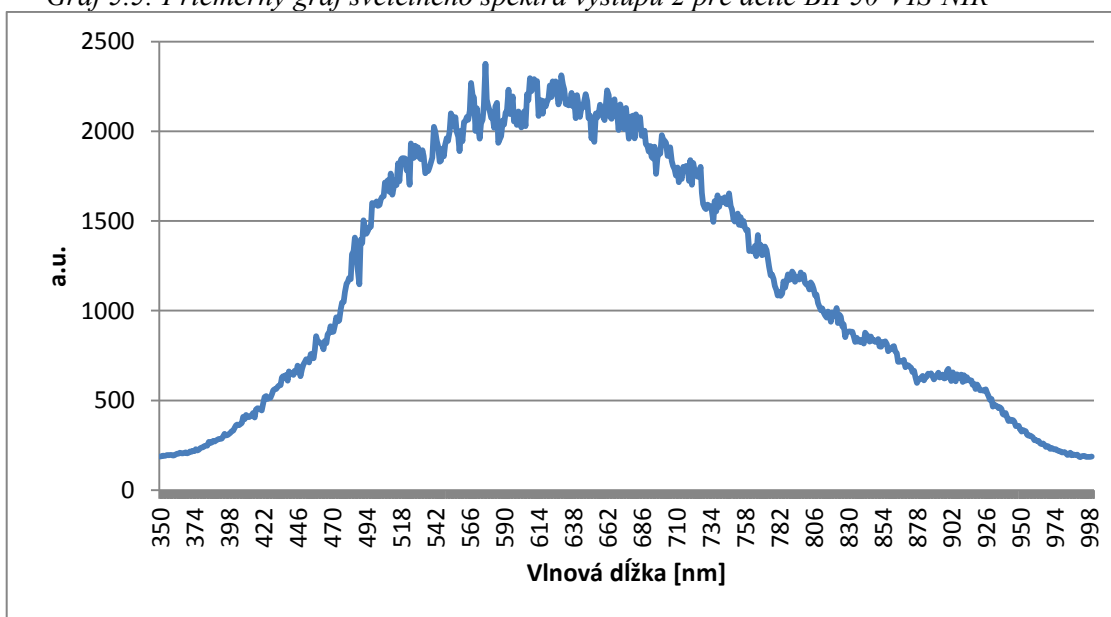
## 5.6 Spektrum výstupov deliča Ocean Optics BIF50-VIS-NIR

V grafoch 5.4 a 5.5 je zobrazené výstupné spektrum oboch výstupov deliča. Je vidieť, že delič je nesymetrický práve vďaka tomu, že jeden jeho výstup prepúšťa svetlo s vyššou vlnovou dĺžkou ako výstup druhý. Práve graf 5.5 zobrazuje spektrum toho výstupu, na ktorom bol zmeraný približne o polovicu menší výkon, než oproti výstupu prvému. Práve tento výstup prenáša svetlo s nižšou vlnovou dĺžkou.

Graf 5.4: Priemerný graf svetelného spektra výstupu 1 pre delič BIF50-VIS-NIR



Graf 5.5: Priemerný graf svetelného spektra výstupu 2 pre delič BIF50-VIS-NIR



## 5.7 Zhodnotenie merania spektra

Týmto doplnkovým meraním sa nám potvrdil vzťah výstupov oboch deličov, pričom u deliča BIF50-UV-VIS môžeme vidieť, že obi dva jeho výstupy sú symetrické. Obi dva výstupy prepúšťajú veľmi podobné svetelné spektrum.

U deliča BIF50-VIS-NIR tomu tak nie je. Prvý z výstupov prepúšťa svetlo len vyšších vlnových dĺžok, začínajúc približne pri dĺžke 600 nm. Druhý z výstupov tohto deliča práve naopak prepúšťa už nižšie vlnové dĺžky približne od 400 nm. V grafe 5.5 je vidieť, že intenzita prepúšťaného svetla s vyššími vlnovými dĺžkami klesá.

Tento fakt nám potvrdil meranie výkonu, pri ktorom sa ukázalo, že delič je nesymetrický. Grafy svetelných spektier naznačujú, že s deličom skutočne nie je niečo v poriadku. Môže byť opotrebovaný alebo poškodený.

## 6 Simulácia parametrov

Nasledujúce simulácie boli všetky uskutočnené v programe Optisystem 11 Optiwave. Simulujú obidva zadané deliče a ich parametre, ktoré boli namerané a demonštrované v predchádzajúcej časti. Uvádžam dva druhy simulácie, pretože pri ich tvorení sa ukázali práve dva spôsoby ako prvky simulovať.

Prvým z dvoch spôsobov je použitie základných komponentov, ktoré sú súčasťou programu Optisystem. S ich správnym usporiadaním sme schopní simulovať parametre symetrického aj nesymetrického deliča.

Druhým spôsobom je použitie MATLAB komponentu, ktorý spolupracuje s programom MATLAB. Tento komponent môžeme prispôsobiť ľubovoľne našim požiadavkám. Zároveň ale musíme vytvoriť kód, ktorý bude obsahovať pokyny a výpočtové operácie, ktoré už so signálom vykoná program MATLAB.

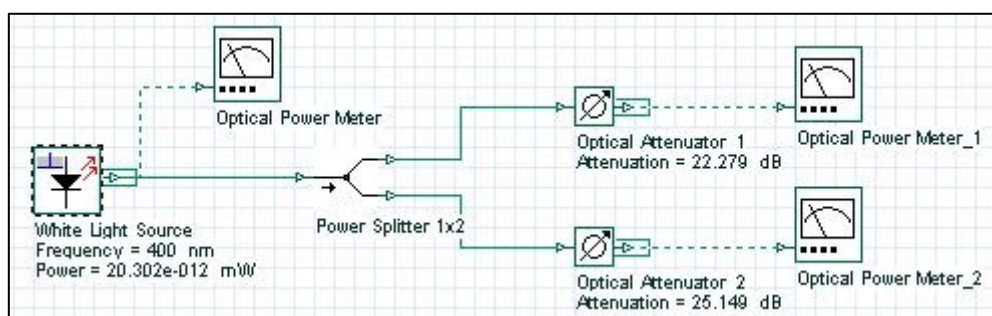
Simulácie navzájom sa teda len líšia v komponentoch, ktoré majú simulovať parametre deliča samotného. Nasledujúce podkapitoly najprv oboznámia s funkciou samotnej použitej simulácie, potom s ich výsledkami.

### 6.1 Simulácia útlmu pomocou základných komponentov

Prvým z možných spôsobov, ktorým sa dajú simulovať namerané parametre a vlastnosti deličov je kombinácia základných prvkov simulačného programu Optisystem. Prvým a hlavným použiteľným prvkom je **výkonový delič 1x2**. V obrázku 6.1 s názvom Power Splitter 1x2. Tento prvok rovnomerne delí simulačný signály optického typu z jedného vstupu do dvoch výstupov. Čo je základná vlastnosť FBT deličov, ktorých sme merali.

Bohužiaľ nemôžeme v simulácii použiť čisto len tento jediný komponent. Dôvodom je práve toto rovnomerné rozdelenie. V simulácii je možné nastaviť útlm tohto prvku ľubovoľne no táto hodnota útlmu bude rovnako vplývať na jeden aj druhý výstup. Na to aby sme boli schopní simulovať nameranú nesymetriu deliča BIF50-VIS-NIR musíme použiť k deliči v simulácii **útlmové prvky**. Tie v obrázku 6.1 nesú názov Optical Attenuator 1 a 2.

Tieto prvky pripojíme na výstupy deliča výkonu a s ich pomocou môžeme na danom výstupe nastaviť potrebný útlm podľa našich požiadaviek. Musíme ale počítať s faktom, že signál samotný, ktorý pochádza zo zdroja je už delený v deliči a teda vystavený útlmu 3 dB. Preto musíme na útlmových prvkoch nastaviť útlm práve o 3 dB menší, než útlm, ktorý sme zmerali.



Obrázok 6.1: Schéma simulácie pomocou základných komponentov

Na obrázku 6.1 už vidíme celú schému simulácie. Celkové výkony simulovaného optického signálu zo zdroja a z výstupov deliča budeme zachytávať a merať pomocou **meračov výkonu**. Prvkov s názvom Optical Power Meter.

Poslednou časťou simulácie je samotný zdroj bieleho svetla, v schéme s názvom **White Light Source**. V programe Optisystem nebolo možné spoľahlivo simulovať celý širokospektrálny zdroj bieleho svetla. Preto zaň bola zvolená náhrada v podobe tohto prvku, na ktorom je nastavená vlnová dĺžka signálu 400 nm. Presne taká, podľa ktorej pri meraní prepočítaval celkový výkon merač výkonu. Ako už bolo spomenuté zvolili sme túto náhradu preto, že nebolo možné napodobiť presné spektrum reálneho zdroja. Jeho šírku by bolo možné dosiahnuť pomocou skladania viacerých úzkopásmových zdrojov, no tak by schéma simulácie nabrala gigantické rozmery. Zároveň by sa celková simulácia stala veľmi výpočtovo náročná.

Výhodou tohto zdroja je ale nastaviteľný optický výkon, s ktorým sme mohli celkom presne nastaviť svetelný výkon, ktorý sme namerali. Ak bola na zdroji nastavená hodnota  $100 \cdot 10^{-12}$  mW tak výkon zobrazený na merači výkonu pripojenom k zdroji samotnému ukázal hodnotu 63,5 mW. V prípade nastavenej hodnoty o veľkosti  $50 \cdot 10^{-12}$  mW sme na merači výkonu dostali presnú polovicu z predchádzajúceho prípadu a to 31,75 mW. Vzhľadom na tento fakt môžeme určiť číselnú konštantu  $Y$ , ktorou je možné prenásovať nami požadovaný výkon z ktorého dostaneme číslo  $X$ . Toto číslo potom môžeme zadať ako parameter prvku simulovaného zdroja. Týmto spôsobom dostaneme na merači výkonu nami požadovaný výkon. Výsledky z tejto simulácie potom môžeme porovnať s nameranými hodnotami. Konštanta  $Y$ , ktorou boli prenášované hodnoty výkonu bola **1,575**. V našom prípade bolo možné zaokrúhliť túto konštantu na 3 desatinné miesta pre dosiahnutie rovnakých výsledkov ako s číslom, ktoré má desatinných miest viac.

### 6.1.1 Výsledky simulácie deličov pomocou základných komponentov

Po zadaní nami požadovaných hodnôt parametrov do prvkov simulácie. V tabuľke 6.1 je možné vidieť hodnoty zadaných aj nasimulovaných hodnôt oboch deličov. Tieto hodnoty môžeme porovnať s nameranými hodnotami v tabuľkách 4.5 a 4.6. Výsledné hodnoty simulácie nameraných výkonov na výstupoch sa nachádzajú v rozsahu výsledných nameraných hodnôt aj s chybou. Tieto hodnoty sú veľmi blízke výsledným stredným hodnotám výkonov z meraní.

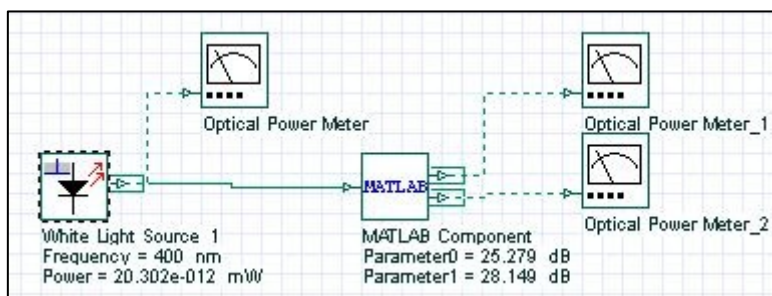
Súbor v ktorom sa nachádza celá simulácia nesie názov **SplitterPowerC.osd** a je ho možné nájsť v prílohe na CD.

Tabuľka.6.1: Tabuľka hodnôt simulácie pomocou základných komponentov

Delič	Séria merania	Útlm vetve č.1	Útlm vetve č.2	Vstupný výkon	Výstupný výkon č.1	Výstupný výkon č.2
BIF50-UV-VIS	1	22,062 dB	21,593 dB	12,880 mW	40,058 $\mu$ W	44,626 $\mu$ W
BIF50-VIS-NIR	1	22,263 dB	24,987 dB	4,397 mW	13,056 $\mu$ W	6,973 $\mu$ W
BIF50-VIS-NIR	2	22,279 dB	25,149 dB	12,891 mW	38,140 $\mu$ W	19,696 $\mu$ W

## 6.2 Simulácia útlmu pomocou MATLAB komponentu

Druhým spôsobom simulácie je využiť namiesto viacerých komponentov jeden komponent, ktorý spolupracuje s programom MATLAB. V schéme simulácie (pozri obrázok 6.2) sa nachádzajú rovnaké prvky ako v predošlej simulácii a to konkrétne zdroj bieleho svetla a merače výkonu. Pre tie platí všetko tak ako v predošlom prípade.



Obrázok 6.2: Schéma simulácie pomocou komponentu Matlab

Jediným rozdielom je demonštrácia meraného deliča. V tomto prípade už nepotrebujeme viac simulačných prvkov, postačí nám jeden. Prvok s názvom **MATLAB Component** nám umožňuje vykonávať s vstupným signálom ľubovoľné operácie, ktorých výsledky sa objavujú na výstupoch komponentu. V tejto komponente si môžeme ľubovoľne nastaviť počet vstupov a výstupov a rovnako aj vytvoriť vlastné parametre, s ktorými je možné neskôr pracovať.

K tomuto prvku simulácie sa viaže súbor s koncovkou **.m**, ktorá je charakteristická práve pre program MATLAB. V parametre komponentu sa nachádza názov tohto súboru, ktorý v tomto prípade je potrebné umiestniť do rovnakého adresára ako súbor simulácie programu Optisystem. Je ale možné do tohto parametru zadať adresu tohto súboru ak by bol tento súbor umiestnený inde. Konkrétny názov tohto súboru je **SplitterComponent.m** a spolupracuje so súborom **SplitterMatlab.osd**. Obidva súbory je možné nájsť v prílohe na CD.

Obsahom samotného súboru pre program MATLAB je kód, ktorý obsahuje inštrukcie a matematické operácie. Tie program MATLAB vykoná s vstupným signálom a uvedie ich na výstup. Kód použitý v tomto súbore bol vytvorený pomocou návodu obsiahnutom v aplikačnej poznámke od výrobcu programu Optisystem [10].

V prvom kroku tvorenia kódu musíme pochopiť ako bude MATLAB spracovávať informácie ktoré dostane. Teda v akej podobe vstupujú informácie na vstup komponentu. V skratke: Optisystem generuje signál, ktorý sa správa ako štruktúra. V tejto štruktúre môžeme nájsť informácie o type signálu (optický, elektrický a pod.). Ďalej tu nájdeme vlnové dĺžky signálu a ďalšie štruktúry, ktoré určujú typ signálu. Konkrétne signál sampled, parameterised a noise. Tieto majú tiež podobu štruktúry.

Sampled, vzorkový signál je možné spracovávať v oboch doménach simulácie časovej aj frekvenčnej. Parameterized alebo parametrizované signály sú priemerné vzorkovacie signály, ktoré určujú priemerne vlnové dĺžky, priemerný výkon a pod. Noise alebo hlukové signály sú štruktúry symbolizujúce šum.

Pomocou ukazateľov v kóde sa dostávame k výkonovým hodnotám všetkých troch typov signálov a po ich spracovaní ich pošleme na výstup.

Celý nasledujúci kód v súbore najprv priradí k výstupom vstupy, ktoré sa ich týkajú, potom deklaruje parametre do premenných. Spolu s týmito a pomocnými premennými v kóde vypočítame hodnoty, ktoré chceme poslať na výstup komponentu. Tieto hodnoty získame z vstupného signálu pomocou ukazateľov.

V prvom rade musíme overiť podmienkami, či sa jedná o optický signál a o aký konkrétny druh signálu ide. Potom pomocou premenného poľa zistíme počet signálov jedného typu na výstupe. Následne pomocou podmienky a cyklu vykonáme prepočet hodnoty výkonu signálu na jeho x-ovej a y-ovej osi. Výsledky výpočtov zapíšeme buď priamo do výstupu alebo do dočasných premenných, pri ktorých pošleme na výstup ich súčet.

Kód samotný aj s komentármi, ktoré opisujú postup vykonávaného programu nájdete v prílohe C alebo v prílohe na CD ako obsah súboru s názvom **SplitterComponent.m**.

### 6.2.1 Výsledky simulácie deličov pomocou komponentu MATLAB

Do prvkov v simulácii sme zadali hodnoty parametrov uvedených v tabuľke 6.2. Útlm vetve č.1 bol *Parameter0* a útlm vetve č.2 v MATLAB komponente je pripisovaný parametru s názvom *Parameter1*. Výsledky výstupných výkonov sú porovnateľné s tabuľkami 4.5 a 4.6 a sú veľmi blízke stredným hodnotám získaným z meraní. Od prvej simulácii sa mierne líšia, no nachádzajú sa v rozsahu výsledných hodnôt určenom priemernou hodnotou a chybou merania.

Tabuľka.6.2: Tabuľka hodnôt simulácie pomocou komponentu MATLAB

Delič	Séria merania	Útlm vetve č.1	Útlm vetve č.2	Vstupný výkon	Výstupný výkon č.1	Výstupný výkon č.2
BIF50-UV-VIS	1	25,062 dB	24,593 dB	12,880 mW	40,110 μW	44,686 μW
BIF50-VIS-NIR	1	25,263 dB	27,987 dB	4,397 mW	13,073 μW	6,981 μW
BIF50-VIS-NIR	2	25,279 dB	28,149 dB	12,891 mW	38,191 μW	19,720 μW

### 6.3 Zhodnotenie simulácií

Obe simulácie celkom presne napodobili hodnoty, ktoré sme zistili meraním. Aj napriek tomu, že sa výsledné hodnoty výstupných výkonov v konkrétnych prípadoch mierne líšia všetky výsledné hodnoty simulácie sa nachádzajú v rozsahu hodnôt nameraných. Tie určuje priemer hodnôt s chybou merania.

Simulácie samotné majú svoje výhody a nevýhody.

Výhody simulácie, ktorá používa základné komponenty programu Optisystem vychádzajú z jednoduchosti návrhu. Utvorenie takejto simulácie nie je časovo náročné a sami ju bez problémov vytvoríme na počkanie. Nevýhodou je ale zadávanie hodnôt do útlmových prvkov. Pri nich musíme dávať pozor aby bola hodnota zadaného útlmu menšia o 3 dB než hodnota, ktorú doň chceme zadať.

Výhody simulácie s komponentom MATLAB práve odstraňujú nevýhody prvého návrhu. Hodnoty útlmov môžeme vložiť priamo bez odčítania a tak isto samotný delič je demonštrovaný len jedným prvkom v simulácii. Tento komponent nám poskytuje rovnako veľké množstvo možností a úprav vstupného signálu. Nevýhodou tohto typu simulácie môže byť práve to, že užívateľ potrebuje vlastniť nielen program Optisystem ale aj MATLAB. Tiež zhotovenie kódu pre MATLAB je časovo a informačne náročnejšie resp. zložitejšie.



## 7 Záver

Cieľom tejto práce bolo prebrať princíp funkcie deličov a otestovať zadané deliče. Samotné výsledky meraní priniesli informácie o reálnom stave zadaných deličov, ktoré boli k dispozícii. Vzhľadom na ich funkčnosť a stav boli prispôsobené merania a to tak, aby sme boli schopný deliče analyzovať. Následne na to bola vytvorená simulácia, ktorá mala napodobiť správanie týchto deličov.

Meraním sa zistilo, že deliče vôbec nedodržujú parametre, ktoré o nich výrobca udáva. Sú opotrebované a neschopné ďalšieho využitia či už v laboratórnom alebo praktickom prostredí. Vzhľadom na ich vysoký útlm a veľmi nízky optický prenos nie je rovnako možné tieto deliče použiť v akomkoľvek zapojení s viacerými pasívnymi vláknovými optickými prvkami.

U deliča BIF50-VIS-NIR bola dokonca zistená nesymetria, čo je nežiaduca vlastnosť u tohto typu optického deliča. Túto vlastnosť potvrdzuje aj nahliadnutie na svetelné spektrum prechádzajúce deličom.

Simulácia v programe Optisystem, ktorý v jednom prípade spolupracoval s programom MATLAB dokázala, že je možné vytvoriť vo virtuálnom prostredí prvok symbolizujúci práve nami testované deliče. Použité prvky dokázali simulovať vlastnosti oboch deličov s presnými výsledkami veľmi podobnými tým, ktoré boli preukázané meraním. V tabuľke 7.1 slúži na porovnanie všetkých získaných výsledkov z merania a simulácie. Je v nej pridaný deliaci pomer porovnávajúci delenie výkonu medzi dvoma výstupmi deliča.

Tabuľka 7.1: Porovnanie výsledkov meraní a simulácií

Meranie	Séria	Útlm vetve	Útlm vetve	Vstupný	Výstupný	Výstupný	Deliaci
Delič	merania	č.1	č.2	výkon	výkon č.1	výkon č.2	pomer
BIF50-UV-VIS	1	25,062 dB ± 2,169 dB	24,593 dB ± 4,430 dB	12,880 mW ± 0,630 mW	40,159 µW ± 8,484 µW	44,745 µW ± 19,703 µW	47:53
BIF50-VIS-NIR	1	25,263 dB ± 1,398 dB	27,978 dB ± 1,881 dB	4,397 mW ± 0,199 mW	13,086 µW ± 1,730 µW	7,004 µW ± 1,278 µW	65:35
BIF50-VIS-NIR	2	25,279 dB ± 1,964 dB	28,149 dB ± 2,971 dB	12,891 mW ± 0,432 mW	38,239 µW ± 7,398 µW	19,749 µW ± 5,831 µW	64:34
Simulácia pomocou základných komponentov programu Optiwave							
BIF50-UV-VIS	1	22,062 dB	21,593 dB	12,880 mW	40,058 µW	44,626 µW	47:53
BIF50-VIS-NIR	1	22,263 dB	24,987 dB	4,397 mW	13,056 µW	6,973 µW	65:35
BIF50-VIS-NIR	2	22,279 dB	25,149 dB	12,891 mW	38,140 µW	19,696 µW	66:34
Simulácia pomocou komponentu MATLAB							
BIF50-UV-VIS	1	25,062 dB	24,593 dB	12,880 mW	40,110 µW	44,686 µW	47:53
BIF50-VIS-NIR	1	25,263 dB	27,987 dB	4,397 mW	13,073 µW	6,981 µW	65:35
BIF50-VIS-NIR	2	25,279 dB	28,149 dB	12,891 mW	38,191 µW	19,720 µW	66:34

Hlavným prínosom mojej bakalárskej práce je overenie funkčnosti a stanovenie použitia zadaných deličov. Rovnakým postupom je možné testovať akýkoľvek vláknový delič použiteľný pre viditeľné spektrum.

Ďalším z prínosov je samotná simulácia, ktorá verne napodobuje správanie reálnych deličov. Môžu byť použité vo väčších projektoch v ktorých je treba počítať s čo najreálnejšími optickými prvkami. Pri nich treba počítať s nechcenými a reálnymi vlastnosťami ako vyšší útlm a nesymetria výstupov. To preto, že simulácie sú navrhnuté tak, že budú pracovať rovnako pri rôznych druhov zdrojov a rôznych zapojeniach rovnako. Sú použiteľné pre všetky druhy simulovaných optických signálov v programe Optisystem.

---

## Použitá literatúra

- [1] MILLER, Kevin. Fiber Optic Splitters - Common Types. *M2optics.com* [online]. 2011 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.m2optics.com/blog/bid/64174/Fiber-Optic-Splitters-Common-Types>
- [2] How does a PLC Splitter work. EXFIBER OPTICAL TECHNOLOGIES CO., Ltd. *Exfiber.com* [online]. 2012 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.exfiber.com/tutorial/How-does-a-PLC-Splitter-work-13.html>
- [3] Fused Biconic Taper Technology (FBT). KEYFIBRE. *Keyfibre.com* [online]. 2012 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.keyfibre.com/Catalog.aspx?View=Subfamily&sfid=45>
- [4] LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and Practice*. United States of America: Elsevier, 2007, 91 - 93. ISBN 978-0-12-373853-0.
- [5] OZOPTICS. *Wavelength Division Multiplexers*. Ottawa, ON, Canada, 2009. Dostupné z: [http://www.ozoptics.com/ALLNEW\\_PDF/DTS0089.pdf](http://www.ozoptics.com/ALLNEW_PDF/DTS0089.pdf)
- [6] Definitions. AOFR. *Aofr.com* [online]. 2009 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.aofr.com/definitions.html>
- [7] POTTER, B.G. *Module 3 - Attenuation in Optical Fibers*. University of Arizona, 2012. Dostupné z: <http://opti500.cian-erc.org/opti500/pdf/sm/Module3%20Optical%20Attenuation.pdf>
- [8] OCEAN OPTICS. *Fibers & Probes*. USA, 2004. Dostupné z: [http://www.mikropack.de/d/specto/pdf\\_downloads/fibers&probes.pdf](http://www.mikropack.de/d/specto/pdf_downloads/fibers&probes.pdf)
- [9] VAJDA, Drahoslav. *Návody k laboratorným cvičeniam z fyziky*. Žilina: Edis, 2001. ISBN 80-7100-819-2.
- [10] OPTIWAVE. *Matlab component: Creating a component to handle optical signals*. Ottawa, Ontario, K2E 7X1, Canada, 2011. Dostupné z: <http://www.optiwave.com/products/download/optisystem/Matlab%20Optical%20Example.pdf>

---

## Zoznam použitých termínov

Termín	Význam termínu
Optický výkon	Výkon prenášaný žiarením, uvádza sa vo wattoch.
Útlm	Postupná strata intenzity akéhokoľvek toku v médiu.
Vlnová dĺžka	Vzdialenosť medzi opakujúcimi sa periódami vlnenia

---

---

## Zoznam použitých obrázkov

Označenie	Názov	Strana
2.1	Diagram optického deliča 1x4	2
2.2	Y-spoj vláknového deliča FBT	3
2.3	PLC delič	4
2.4	Výroba Y-spojenia FBT deliča	8
2.5	PLC čip	8
3.1	Vláknový optický delič BIF50-UV-VIS a BIF50-VIS-NIR	9
4.1	Schéma zapojenia pre meranie výkonu	13
5.1	Schéma zapojenia pre meranie spektra	22
6.1	Schéma simulácie pomocou základných komponentov	27
6.2	Schéma simulácie pomocou komponent Matlab	29

---

---

## Zoznam použitých grafov

Označenie	Názov	Strana
3.1	Útlm vlákna UV-VIS	10
3.2	Relatívny optický prenos výstupu č.1 deliča BIF50-UV-VIS	11
3.3	Relatívny optický prenos výstupu č.2 deliča BIF50-UV-VIS	11
3.4	Útlm vlákna VIS-NIR	12
3.5	Relatívny optický prenos výstupu č.1 deliča BIF50-VIS-NIR	12
3.6	Relatívny optický prenos výstupu č.2 deliča BIF50-VIS-NIR	12
5.1	Priemerný graf svetelného spektra zdroja	23
5.2	Priemerný graf svetelného spektra výstupu 1 pre delič BIF50-UV-VIS	24
5.3	Priemerný graf svetelného spektra výstupu 2 pre delič BIF50-UV-VIS	24
5.4	Priemerný graf svetelného spektra výstupu 1 pre delič BIF50-VIS-NIR	25
5.5	Priemerný graf svetelného spektra výstupu 2 pre delič BIF50-VIS-NIR	25

---

---

## Zoznam použitých vzorcov

Označenie	Názov	Strana
2.1	Výpočet útlmu deliča vzhľadom na počet výstupov	3
2.2	Výpočet útlmu vzhľadom na vstupný a výstupný výkon	5
2.3	Výpočet nadmerného útlmu	6
2.4	Výpočet odrazivosti	6
2.5	Výpočet jednotnosti kanálu	6
2.6	Výpočet relatívneho optického prenosu	7
4.1	Výpočet maximálnej chyby merania	19
4.2	Výpočet odchýlky merania od aritmetického priemeru	19
4.3	Výpočet kvadratickej chyby	19
4.4	Výpočet chyby nepriameho merania	19

---

---

## Zoznam príloh

Príloha.A:	Výrobný list deliča BIF50-UV-VIS .....	I
Príloha.B:	Výrobný list deliča BIF50-VIS-NIR .....	II
Príloha.C:	Kód simulácie spolupracujúci s komponentom MATLAB.....	III

Súčasťou BP je CD.

Adresárová štruktúra priloženého CD je opísaná v nasledujúcej tabuľke 8.1. Oba adresáre sú na rovnakej úrovni ich obsahom sú súbory opísané pod nimi.

*Tabuľka 8.1: Adresárová štruktúra priloženého CD*

Adresár/ Súbor	Popis
Simulacia Komponent	Adresár so súbormi simulácie so základnými komponentmi programu Optisystem
SplitterPowerC.osd	Súbor simulácie so základnými komponentmi programu Optisystem
Simulacia Matlab	Adresár so súbormi simulácie s komponentom MATLAB
SplitterMatlab.osd	Súbor simulácie s komponentom Matlab
SplitterComponent.m	Súbor s kódom pre program Matlab



Príloha A: Výrobný list deliča BIF50-UV-VIS



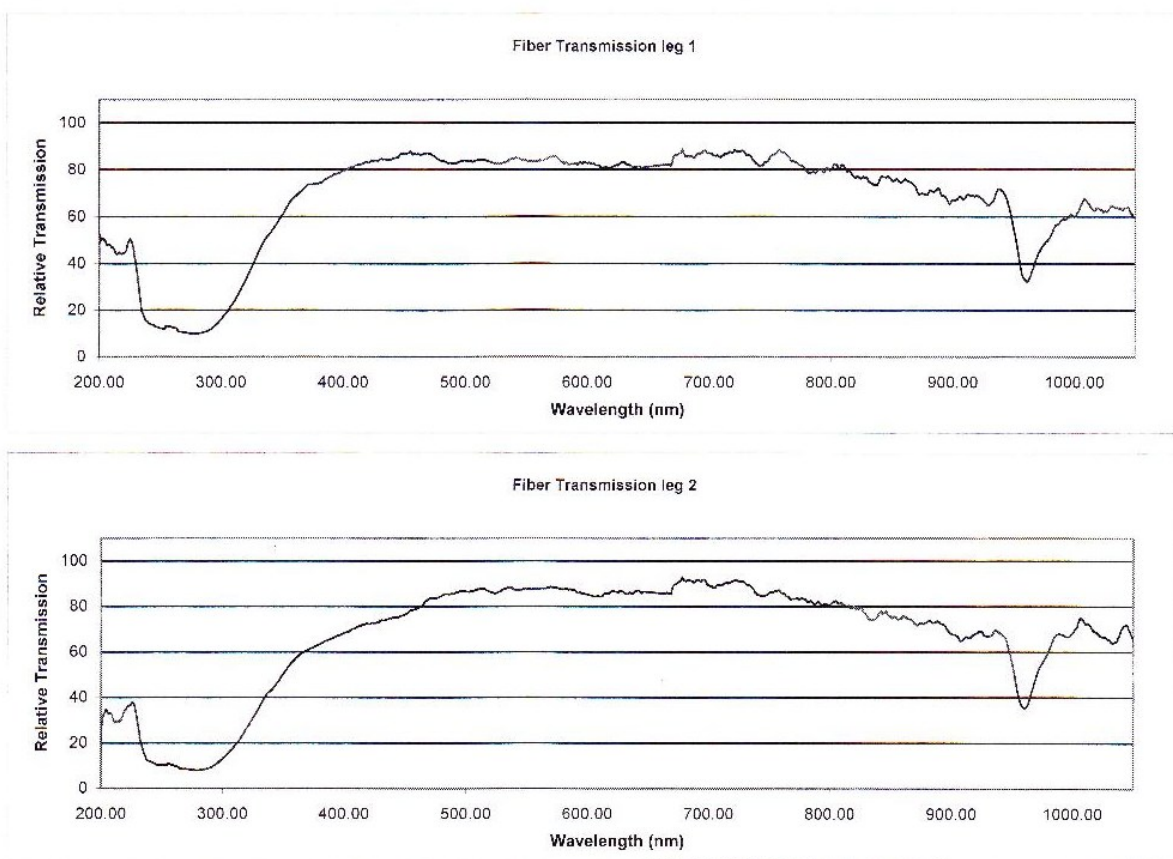
Part #: BIF50-UV-VIS  
Date: June 14, 2010  
Assembly #: EOS-625318  
Connector 1 #: SMA-905  
Connector 2 #: SMA-905  
Common #: SMA-905  
Sales Order #: 1205318

[www.OceanOptics.com](http://www.OceanOptics.com)  
Phone: 727-733-2447  
Fax: 727-733-3962  
[Info@OceanOptics.com](mailto:Info@OceanOptics.com)  
830 Douglas Ave.  
Dunedin, FL 34698

\*Ask about our custom line of Optical Probes and Assemblies.\*

Fiber Type: UV-VIS  
Fiber Core Diameter: 50um

Jacketing: Zip Tube  
Length (meters): 2.00



Inspected by: Van Foster  
Van Foster

**Inspection Checklist**

Polish: X  
Concentricity: X  
Cap Placement: X  
Labeling: X  
Color Coding: X  
Ferrule length: X

RoHS - Compliant

Priloha B: Výrobný list deliča BIF50-VIS-NIR



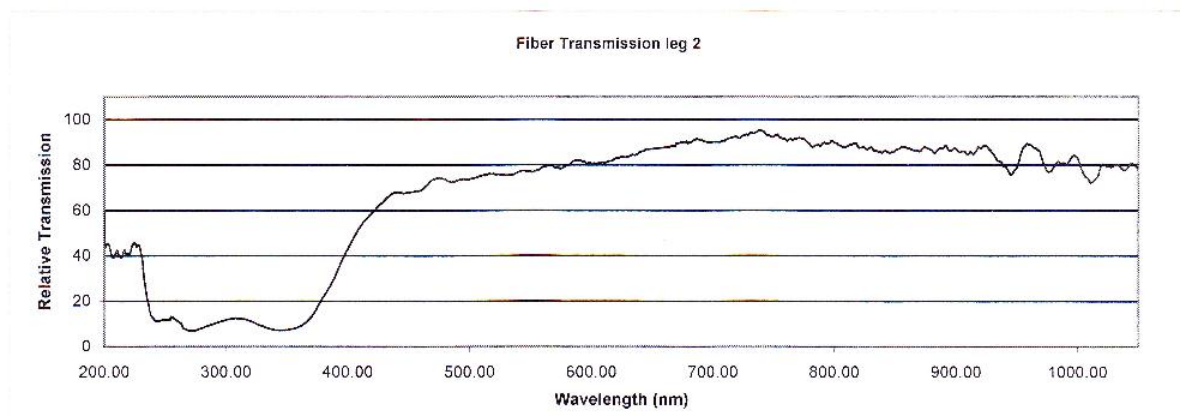
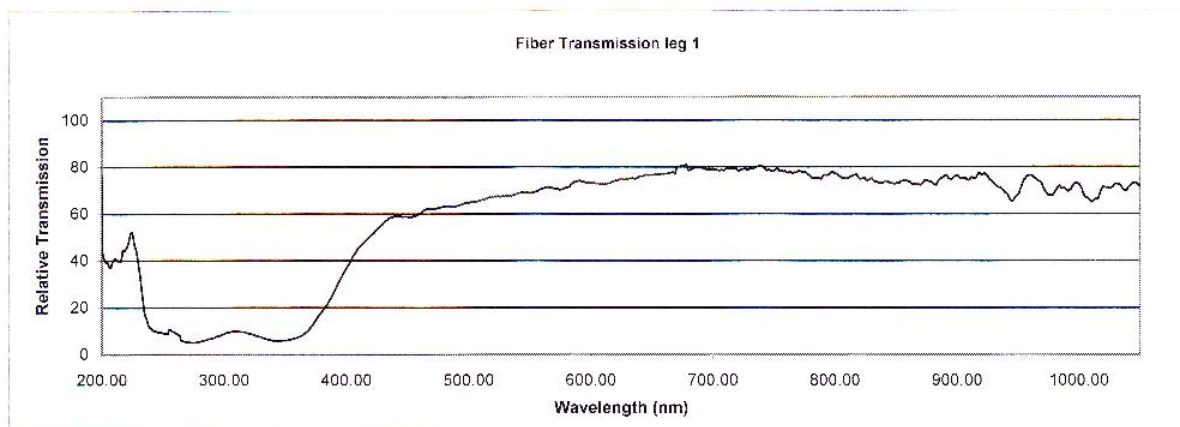
Part #: BIF50-VIS-NIR  
Date: June 14, 2010  
Assembly #: EOS-652138  
Connector 1 #: SMA-905  
Connector 2 #: SMA-905  
Common #: SMA-905  
Sales Order #: 1205318

[www.OceanOptics.com](http://www.OceanOptics.com)  
Phone: 727-733-2447  
Fax: 727-733-3962  
[Info@OceanOptics.com](mailto:Info@OceanOptics.com)  
830 Douglas Ave.  
Dunedin, FL 34698

\*Ask about our custom line of Optical Probes and Assemblies.\*

Fiber Type: VIS-NIR  
Fiber Core Diameter: 50um

Jacketing: Zip Tube  
Length (meters): 2.00



Inspected by:

Van Foster  
Van Foster

Inspection Checklist

Polish: X  
Concentricity: X  
Cap Placement: X  
Labeling: X  
Color Coding: X  
Ferrule length: X



RoHS - Compliant

---

*Príloha C: Kód simulácie spolupracujúci s komponentom MATLAB*

```
OutputPort1 = InputPort1;
OutputPort2 = InputPort1; % nastavenie vzťahov v vstupov a
vystupov komponentu

Utlm1 = Parameter0; % deklaracia premenných symbolizujúcich utlm
Utlm2 = Parameter1; % pochádzajúca z vlastného parametru komponentu

if(InputPort1.TypeSignal == 'Optical') % podmienka pre celý kód
    % overenie koľko vzorkovaných signalov sa nachádza v štruktúre
    [ls, cs] = size(InputPort1.Sampled);
    if( ls > 0 )
        for counter1=1:cs
            % Vypocet utlmu signalu v jeho x-ovej polarizácii pre vystup 1
            OutputPort1.Sampled(1, counter1).Signal(1,:) =
InputPort1.Sampled(1, counter1).Signal(1,:) * exp(-0.2303*Utlm1/2);
            % Vypocet utlmu signalu v jeho y-ovej polarizácii pre vystup
1 ak existuje
            if(size(InputPort1.Sampled(1, counter1).Signal,1) > 1)
                OutputPort1.Sampled(1, counter1).Signal(2,:) =
InputPort1.Sampled(1, counter1).Signal(2,:) * exp(-0.2303*Utlm1/2);
            end

            % Vypocet utlmu signalu v x-ovej polarizácii pre vystup 2
            OutputPort2.Sampled(1, counter1).Signal(1,:) =
InputPort1.Sampled(1, counter1).Signal(1,:) * exp(-0.2303*Utlm2/2);
            % Vypocet utlmu signalu v y-ovej polarizácii pre vystup 2,
ak existuje
            if(size(InputPort1.Sampled(1, counter1).Signal,1) > 1)
                OutputPort2.Sampled(1, counter1).Signal(2,:) =
InputPort1.Sampled(1, counter1).Signal(2,:) * exp(-0.2303*Utlm2/2);
            end
        end
    end
    % overenie koľko parametrizovaných signalov sa nachádza v
štruktúre
    [lp, cp] = size(InputPort1.Parameterized);
    if( lp > 0 )
        % Vypocet utlmu signalu v x-ovej polarizácii pre vystup 1
        PowerTempX = InputPort1.Parameterized.Power .* (1 -
InputPort1.Parameterized.SplittingRatio) * exp(-0.2303 * Utlm1);
        % Vypocet utlmu signalu v y-ovej polarizácii pre vystup 1
        PowerTempY = InputPort1.Parameterized.Power .*
InputPort1.Parameterized.SplittingRatio * exp(-0.2303 * Utlm1 );
```

---

```

    % Vypocet noveho celkoveho vykonu signalu pre vystup 1
    OutputPort1.Parameterized.Power = PowerTempX + PowerTempY;
    % Vypocet noveho deliaceho pomeu signalu pre vystup 1
    OutputPort1.Parameterized.SplittingRatio = PowerTempY ./
(PowerTempX + PowerTempY);

    % Vypocet utlmu signalu v x-ovej polarizacii pre vystup 2
    PowerTempX2 = InputPort1.Parameterized.Power .* (1 -
InputPort1.Parameterized.SplittingRatio) * exp(-0.2303 * Utlm2 );
    % Vypocet utlmu signalu v y-ovej polarizacii pre vystup 2
    PowerTempY2 = InputPort1.Parameterized.Power .*
InputPort1.Parameterized.SplittingRatio * exp(-0.2303 * Utlm2 );
    % Vypocet noveho celkoveho vykonu signalu pre vystup 2
    OutputPort2.Parameterized.Power = PowerTempX + PowerTempY;
    % Vypocet noveho deliaceho pomeu signalu pre vystup 2
    OutputPort2.Parameterized.SplittingRatio = PowerTempY ./
(PowerTempX + PowerTempY);
end

% overenie kolko zasobnikov hluku sa nachadza v sturkture
[ln, cn] = size(InputPort1.Noise);
if( ln > 0 )
    % Vypocet utlmu signalu v x-ovej polarizacii pre vystup 1
    OutputPort1.Noise.Power(1,:) = InputPort1.Noise.Power(1,:) *
exp(-0.2303 * Utlm1 );
    % Vypocet utlmu signalu v y-ovej polarizacii pre vystup 1
    OutputPort1.Noise.Power(2,:) = InputPort1.Noise.Power(2,:) *
exp(-0.2303 * Utlm1 );

    % Vypocet utlmu signalu v x-ovej polarizacii pre vystup 2
    OutputPort2.Noise.Power(1,:) = InputPort1.Noise.Power(1,:) *
exp(-0.2303 * Utlm2 );
    % Vypocet utlmu signalu v y-ovej polarizacii pre vystup 2
    OutputPort2.Noise.Power(2,:) = InputPort1.Noise.Power(2,:) *
exp(-0.2303 * Utlm2 );
end
end

```